



**TUGAS AKHIR-RC14-1501**

# **MODIFIKASI GEDUNG LABORATORIUM TEKNIK INDUSTRI ITS SURABAYA MENGGUNAKAN BETON PRACETAK**

**INDRA JATI PRAKOSO**  
NRP. 3112 100 146

Dosen Pembimbing :  
Budi Suswanto, ST., MT., PhD.

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**TUGAS AKHIR-RC14-1501**

**MODIFIKASI GEDUNG LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS SURABAYA MENGGUNAKAN  
BETON PRACETAK**

INDRA JATI PRAKOSO  
NRP. 3112 100 146

Dosen Pembimbing :  
Budi Suswanto, ST., MT., PhD.

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**FINAL PROJECT-RC14-1501**

# **MODIFICATION OF INDUSTRIAL ENGINEERING ITS SURABAYA BUILDING USING PRECAST METHOD**

**INDRA JATI PRAKOSO**  
**NRP. 3112 100 146**

**Advisor :**  
**Budi Suswanto, ST., MT., PhD.**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**  
**Faculty of Civil Engineering and Planning**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2017**

# **MODIFIKASI GEDUNG LABORATORIUM TEKNIK INDUSTRI ITS SURABAYA MENGGUNAKAN BETON PRACETAK**

## **TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**pada**

**Bidang Studi Struktur**

**Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil**

**Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh:**

**INDRA JATI PRAKOSO**

**NRP. 3112 100 146**

**Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:**

1. Budi Suswanto, S.T., MT., Ph.D. .... (Pembimbing)



**SURABAYA  
JULI, 2017**



# **MODIFIKASI GEDUNG LABORATORIUM TEKNIK INDUSTRI ITS SURABAYA MENGGUNAKAN MENGGUNAKAN BETON PRACETAK**

Nama : Indra Jati Prakoso  
NRP : 3112 100 146  
Jurusan : S1 Teknik Sipil FTSP-ITS  
Dosen Pembimbing : Budi Suswanto, S.T., M.T., Ph.D.

## **ABSTRAK**

Metode pracetak saat ini telah banyak digunakan dalam pembangunan konstruksi sipil. Hal ini terjadi karena beton pracetak memiliki beberapa kelebihan dibandingkan beton yang dicor di tempat (*castin situ*). Kelebihannya antara lain yaitu proses pembuatannya yang tidak bergantung cuaca, tidak memerlukan banyak bekisting, waktu pengerjaan yang lebih singkat, kontrol kualitas beton lebih terjamin serta menurut penelitian terbaru beton pracetak juga ramah lingkungan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah menghasilkan perencanaan struktur gedung Apartemen Keraton Krian dengan metode pracetak. Merencanakan *detailing* penulangan dan sambungan pada elemen beton pracetak. Merencanakan pondasi yang menopang bangunan. Dan merancang gambar teknik dari hasil modifikasi gedung ini.

Gedung Laboratorium Teknik Industri ITS ini memiliki tinggi 10 lantai tanpa basement. Gedung ini dirancang ulang menggunakan metode beton pracetak pada bagian balok dan pelat. Standar yang digunakan dalam perencanaan ini adalah perencanaan struktural menggunakan tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung (SNI 2847:2013), untuk menghitung pembebanan gravitasi menggunakan PPIUG 1983 dan tata cara perhitungan pembebanan untuk gedung (SNI 1727:2013), dan pembebanan gempa dihitung menggunakan tata cara perencanaan ketahanan gempa (SNI 1726:2012). Perencanaan gedung ini menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK).

Hasil dari modifikasi gedung apartemen Keraton Krian ini meliputi ukuran balok induk 40/60, ukuran balok anak 20/30, dan 3 macam ukuran kolom yaitu lantai 1-4 90x90 cm, lantai 5-7 80x80 cm dan lantai 8-10 70x70 cm. Sambungan antar elemen pracetak menggunakan sambungan basah dan konsol pendek

***Kata Kunci :Gedung Laboratorium Teknik Industri ITS,  
Modifikasi Perencanaan, Pracetak, Beton Bertulang***

# **MODIFICATION OF INDUSTRIAL ENGINEERING LABORATORY ITS SURABAYA BUILDING USING PRECAST METHOD**

Name : Indra Jati Prakoso  
NRP : 3112 100 146  
Department : S1 Teknik Sipil FTSP ITS  
Advisor I : Budi Suswanto, S.T., M.T., Ph.D.

## **ABSTRACT**

Precast method nowadays has been used in many civil constructions. The precast concrete has advantages to be compared to cast in situ concrete. The advantages of using the precast concrete are firstly the process of concrete casting is not influenced by weather; secondly, it does not need a lot of formworks, efficiency of times, and better quality controls; thirdly, a new research stated that using precast concrete is eco friendly.

The purpose of this final project is to design of a structure plan of Industrial Engineering Laboratory ITS Surabaya building with precast method. The objective of this project to design the detail of the concrete's reinforcement, the connection between precast element, the basement's structure and the foundation that support the building. Finally to draw the result of the modification of the building.

Industrial Engineering Laboratory ITS building has 10 floors and no basement. It was planned using precast method for the beams and the slabs, whereas the columns, stairs, and footing were planned using the cast in situ concrete. The regulation that were used for this planning are SNI 2847:2013 for the structural concrete planning, PPIUG and SNI 1727:2013 for the gravity loads, SNI 1726:2012 for the lateral (earthquake) loads. This building was planned using Special Moment Resisting Frame.

The results of the design modification of the Industrial Engineering Laboratory ITS building were primary beams dimension of 40/60, secondary beams dimension of 20/30, and 3

type of column's dimension, with on the 1st-4th floor were using 90x90, 5th-7th floor were using 80x80, and the 8st-10th floor were using 70x70. The connection between precast element used wet joints and brackets.

***Keywords :Laboratory Industrial Engineering,ITS  
Surabaya, Planning Modification, Precsat, Reinforced Concrete***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan YME karena atas segala kasih dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan Tugas Akhir ini

Selama proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis mendapatkan banyak bimbingan, dukungan dan pengarahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat yang besar penulis menyampaikan rasa terima kasih yang tulus dan sebesar-besarnya kepada :

1. Tuhan YME karena atas segala kasih karunia dan kesempatan yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Orang tua dan keluarga tercinta yang selalu memberikan dukungan baik doa dan materil, dan menjadi motivasi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Budi Suswanto, ST.,MT.,PhD . Selaku dosen konsultasi dan pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Prof. Ir. Noor Endah . M.Sc.,PhD. selaku Dosen Wali penulis.
5. Teman-teman Teknik Sipil yang selalu mendukung dan memberikan semangat dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Seluruh dosen pengajar Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS, terima kasih atas ilmu yang telah diberikan. Seluruh staff dan karyawan Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS. Dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini banyak terdapat kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran dari berbagai pihak sangat diharapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Penulis berharap laporan ini nantinya dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Akhir kata, penulis sebagai penyusun memohon maaf jika ada kesalahan dalam penulisan dan pengolahan data pada tugas

akhir ini. Atas perhatian pembaca, penulis sampaikan terima kasih.

Surabaya, Juni 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
ABSTRAK .....	ii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
BAB I .....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Perumusan Masalah.....	2
1.3    Tujuan.....	3
1.4    Batasan Masalah.....	3
1.5    Manfaat.....	3
BAB II .....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1    Umum.....	5
2.2    Tinjauan Elemen Pracetak.....	5
2.2.1    Pelat .....	5
2.2.2    Balok .....	7
2.3    Sambungan Pracetak .....	8
2.4    Titik Angkat dan Sokongan Pracetak .....	11
2.4.1    Pengangkatan Pelat Pracetak .....	11
2.4.2    Pengangkatan Balok Pracetak .....	13
2.5    Metode Pelaksanaan Elemen Pracetak .....	15

BAB III.....	19
METODOLOGI .....	19
3.1    Diagram Alur Perencanaan.....	19
3.2    Pengumpulan Data.....	20
3.3    Studi Literatur.....	21
3.4    Pemilihan Kriteria Desain .....	21
3.5    Preliminary Design .....	21
3.5.1    Perencanaan Dimensi Kolom .....	22
3.5.2    Perencanaan Dimensi Balok Induk.....	22
3.6    Perhitungan Struktur Sekunder.....	22
3.6.1    Penentuan Dimensi Pelat .....	22
3.6.2    Perencanaan Balok Anak.....	25
3.6.3    Perencanaan Tangga .....	25
3.6.4    Perencanaan Lift .....	26
3.7    Pembebanan.....	26
3.7.1    Beban Statis .....	26
3.7.2    Beban Gempa .....	28
3.7.3    Kombinasi Pembebanan .....	29
3.8    Permodelan dan Analisa Struktur .....	30
3.9    Perhitungan Struktur Utama .....	30
3.9.1    Perencanaan Balok Induk .....	31
3.9.2    Perencanaan Kolom.....	34
3.10    Perencanaan Sambungan .....	35
3.10.1    Perencanaan Sambungan Balok Pracetak Dengan Kolom.....	36



3.10.2	Perencanaan Sambungan Balok Pracetak Dengan Pelat Pracetak .....	39
3.10.3	Perencanaan Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak.....	41
3.11	Perencanaan Pondasi .....	41
3.11.1	Kebutuhan Tiang Pancang.....	42
3.11.2	Perencanaan Terhadap Geser .....	43
3.12	Penggambaran Hasil Perhitungan.....	43
BAB IV	.....	45
PEMBAHASAN	.....	45
4.1	Preliminary Desain .....	45
4.1.1	Umum.....	45
4.1.2	Data Perencanaan .....	45
4.1.3	Pembebanan.....	45
4.1.4	Perencanaan Dimensi Balok.....	47
4.1.5	Perencanaan Tebal Pelat.....	50
4.1.6	Perencanaan Dimensi Kolom .....	51
4.2	Perencanaan Struktur Sekunder.....	53
4.2.1	Perencanaan Pelat.....	53
4.2.2	Perencanaan Balok Anak Pracetak .....	72
4.2.3	Perencanaan Tangga.....	87
4.2.4	Perencanaan Balok Lift .....	102
4.3	Pemodelan Struktur .....	112
4.3.1	Umum.....	112
4.3.2	Data-Data Perencanaan .....	112
4.3.3	Perhitungan Berat Struktur .....	113

4.3.4	Analisa Beban Gempa .....	115
4.4	Perencanaan Struktur Utama .....	134
4.4.1	Umum .....	134
4.4.2	Perencanaan Balok Induk .....	134
4.4.3	Perencanaan Kolom .....	161
4.5	Perencanaan Sambungan .....	170
4.5.1	Umum .....	170
4.5.2	Konsep Desain Sambungan .....	170
4.5.3	Penggunaan Topping Beton.....	175
4.5.4	Perencanaan Sambungan Balok dan Kolom.....	176
4.5.5	Perencanaan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak.....	183
4.5.6	Perencanaan Sambungan Pelat dan Balok.....	187
4.6	Perencanaan Pondasi .....	191
4.6.1	Umum .....	191
4.6.2	Data Tanah.....	191
4.6.3	Kriteria Design .....	191
4.6.4	Daya Dukung .....	192
4.6.5	Perhitungan Tiang Pancang .....	194
4.6.6	Perencanaan Poer Satu Kolom.....	201
4.6.7	Perencanaan Poer Dua Kolom.....	205
4.6.8	Perencanaan Balok Sloof Interior.....	211
4.7	Metode Pelaksanaan .....	214
4.7.1	Umum .....	214
4.7.2	Pengangkatan dan Penempatan Crane .....	215
4.7.3	Pekerjaan Elemen Kolom .....	216

4.7.4	Pekerjaan Elemen Balok Induk .....	216
4.7.5	Pemasangan Elemen Balok Anak.....	217
4.7.6	Pemasangan Elemen Pelat.....	217
4.7.7	Transportasi Elemen Beton Pracetak.....	218
BAB V .....		221
KESIMPULAN DAN SARAN .....		221
5.1	Kesimpulan.....	221
5.2	Saran.....	222
DAFTAR PUSTAKA.....		223
LAMPIRAN .....		225

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Perbandingan metode penyambungan .....	10
<b>Tabel 3. 1</b> Beban mati pada struktur .....	27
<b>Tabel 3. 2</b> Beban hidup pada struktur .....	28
<b>Tabel 4. 1</b> Rekapitulasi Dimensi Balok Induk .....	49
<b>Tabel 4. 2</b> Rekapitulasi Dimensi Balok Anak .....	49
<b>Tabel 4. 3</b> Rekapitulasi Dimensi Pelat .....	51
<b>Tabel 4. 4</b> Tulangan Terpasang pada Pelat .....	71
<b>Tabel 4. 5</b> Rekapitulasi Penulangan Pada Balok Anak .....	87
<b>Tabel 4. 6</b> Spesifikasi C300 Passenger Elevator .....	103
<b>Tabel 4. 7</b> Koefisien Situs Fa .....	117
<b>Tabel 4. 8</b> Koefisien Situs Fv .....	117
<b>Tabel 4. 9</b> Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek .....	118
<b>Tabel 4. 10</b> Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik .....	119
<b>Tabel 4. 11</b> Perhitungan Manual Beban Gravitasi .....	121
<b>Tabel 4. 12</b> Modal rasio partisipasi massa .....	124
<b>Tabel 4. 13</b> Nilai Parameter Periode Pendekatan $C_t$ dan $x$ .....	125
<b>Tabel 4. 14</b> Koefisien untuk Batas Atas dari Periode yang di hitung .....	125
<b>Tabel 4. 15</b> Modal Periode dan Frekuensi Struktur .....	126
<b>Tabel 4. 16</b> Reaksi Dasar Struktur .....	128
<b>Tabel 4. 17</b> Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa Setelah Dikalikan dengan Faktor Skala .....	129
<b>Tabel 4. 18</b> Simpangan Antar Lantai Yang Terjadi Akibat Beban .....	131
<b>Tabel 4. 19</b> Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah X .....	131
<b>Tabel 4. 20</b> Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah Y .....	132
<b>Tabel 4. 21</b> Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah Y .....	133

<b>Tabel 4. 22</b> Kontrol Simpangan Arah Y Akibat Beban Gempa Arah Y .....	133
<b>Tabel 4. 23</b> Nilai Mpr balok induk interior .....	150
<b>Tabel 4. 24</b> Penulangan Lapangan Balok Induk .....	160
<b>Tabel 4. 25</b> Penulangan Tumpuan Balok Induk.....	160
<b>Tabel 4. 26</b> Gaya dalam kolom.....	162
<b>Tabel 4. 27</b> Rekapitulasi Penulangan Kolom.....	170
<b>Tabel 4. 28</b> Daya dukung tiang pancang tunggal.....	195

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Pelat pracetak Double Tees.....	6
<b>Gambar 2. 2</b> Pelat pracetak berlubang (Hollow Core Slab).....	6
<b>Gambar 2. 3</b> Pelat pracetak tanpa lubang (Solid Slab) .....	6
<b>Gambar 2. 4</b> Balok berpenampang persegi ( <i>Rectangular Beam</i> ).7	
<b>Gambar 2. 5</b> Balok T terbalik (Inverted Tee Beam) .....	7
<b>Gambar 2. 6</b> Balok berpenampang L (Ledger Beam) .....	8
<b>Gambar 2. 7</b> Sambungan dengan cor setempat .....	9
<b>Gambar 2. 8</b> Sambungan dengan las.....	10
<b>Gambar 2. 9</b> Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat) .....	12
<b>Gambar 2. 10</b> Posisi titik angkat pelat (8 buah titik angkat) .....	13
<b>Gambar 2. 11</b> Pengangkatan balok pracetak .....	14
<b>Gambar 3. 1</b> Diagram alur perencanaan .....	19
<b>Gambar 3. 2</b> Diagram alir perhitungan penulangan komponen lentur.....	24
<b>Gambar 3. 3</b> Ilustrasi kuat momen yang bertemu di HBK.....	35
<b>Gambar 3. 4</b> Sambungan balok dengan kolom .....	37
<b>Gambar 3. 5</b> Parameter geometri konsol pendek .....	38
<b>Gambar 3. 6</b> Hubungan Balok Kolom .....	39
<b>Gambar 3. 7</b> Sambungan Antara Balok dengan Pelat.....	40
<b>Gambar 3. 8</b> Sambungan balok induk dengan balok anak .....	41
<b>Gambar 3. 9</b> Ilustrasi Pondasi Tiang Pancang .....	42
<b>Gambar 4. 1</b> Denah pembalokan.....	48
<b>Gambar 4. 2</b> Pelat tipe A.....	50
<b>Gambar 4. 3</b> Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat).....	60
<b>Gambar 4. 4</b> Diagram gaya geser horizontal penampang komposit .....	65
<b>Gambar 4. 5</b> Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat) .....	67
<b>Gambar 4. 6</b> Momen pengangkatan pelat arah i .....	68
<b>Gambar 4. 7</b> Momen pengangkatan pelat arah j .....	68
<b>Gambar 4. 8</b> Dimensi balok anak.....	73
<b>Gambar 4. 9</b> Distribusi Beban pada Balok Anak .....	73
<b>Gambar 4. 10</b> Momen saat pengangkatan balok anak .....	83

<b>Gambar 4. 11</b>	Letak titik pengangkatan .....	84
<b>Gambar 4. 12</b>	Perencanaan tangga tampak atas .....	89
<b>Gambar 4. 13</b>	Potongan tangga .....	90
<b>Gambar 4. 14</b>	Sketsa beban pada tangga.....	91
<b>Gambar 4. 15</b>	Free body diagram gaya-gaya pada tangga .....	93
<b>Gambar 4. 16</b>	Bidang normal (D) pada tangga .....	93
<b>Gambar 4. 17</b>	Bidang momen (N) pada tangga.....	93
<b>Gambar 4. 18</b>	Bidang momen (M) pada tangga.....	94
<b>Gambar 4. 19</b>	Denah Lift .....	103
<b>Gambar 4. 20</b>	Permodelan 3D Struktur Utama .....	113
<b>Gambar 4. 21</b>	Peta untuk menentukan harga $S_s$ .....	116
<b>Gambar 4. 22</b>	Peta untuk menentukan harga $S_1$ .....	116
<b>Gambar 4. 23</b>	Grafik Respon Spectrum Daerah Surabaya .....	118
<b>Gambar 4. 24</b>	Detail pembalokan .....	136
<b>Gambar 4. 25</b>	Pembebanan balok induk sebelum komposit ....	137
<b>Gambar 4. 26</b>	Pembebanan balok induk sebelum komposit ....	139
<b>Gambar 4. 27</b>	Denah pembalokan.....	142
<b>Gambar 4. 28</b>	Momen saat pengangkatan balok induk .....	157
<b>Gambar 4. 29</b>	Letak titik pengangkatan .....	158
<b>Gambar 4. 30</b>	Diagram interaksi aksial vs momen kolom .....	163
<b>Gambar 4. 31</b>	Ilustrasi Kuat Momen yang Bertemu di HBK...164	
<b>Gambar 4. 32</b>	Panjang Tumpuan pada Tumpuan.....	171
<b>Gambar 4. 33</b>	Mekanisme Pemindahan Beban .....	172
<b>Gambar 4. 34</b>	Model keruntuhan .....	174
<b>Gambar 4. 35</b>	Model sambungan balok pada konsol kolom....	174
<b>Gambar 4. 36</b>	Geometrik konsol pendek .....	176
<b>Gambar 4. 37</b>	Detail batang tulangan dengan kait standar.....	182
<b>Gambar 4. 38</b>	Detail batang tulangan dengan kait standar.....	187
<b>Gambar 4. 39</b>	Panjang Penyaluran Balok Anak.....	188
<b>Gambar 4. 40</b>	Panjang Penyaluran Pelat.....	188
<b>Gambar 4. 41</b>	<i>Prestressed Concrete Spun Pile</i> .....	191



<b>Gambar 4. 42</b>	Konfigurasi rencana tiang pancang .....	198
<b>Gambar 4. 43</b>	Konfigurasi Poer dengan Dua Kolom.....	206
<b>Gambar 4. 44</b>	Sloof yang ditinjau.....	211
<b>Gambar 4. 45</b>	Diagram Interaksi Balok Sloof 40/60.....	213
<b>Gambar 4. 46</b>	Pemasangan Bekisting untuk Pembuatan Kolom .....	216
<b>Gambar 4. 47</b>	Pemasangan Balok Induk Pracetak .....	217
<b>Gambar 4. 48</b>	Pemasangan Balok Anak Pracetak.....	217
<b>Gambar 4. 49</b>	Pemasangan Tulangan Atas .....	218

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Semakin meningkatnya jumlah penduduk di Indonesia, maka kebutuhan-kebutuhan masyarakat juga meningkat. Salah satu kebutuhan tersebut adalah gedung pendidikan. Saat ini, semakin bertambahnya jumlah penduduk dan semakin berkembangnya teknologi maka dibutuhkan pula sebuah wadah yang memadai salah satunya adalah infrastruktur gedung pendidikan.

Metode pracetak merupakan metode konstruksi yang memiliki beberapa kelebihan daripada metode cor di tempat. Kelebihannya yaitu mutu bahan lebih terjamin karena proses pembuatan beton merupakan hasil fabrikasi yang telah dikontrol kualitasnya, dan waktu pemasangan lebih cepat dan praktis. Selain itu, tidak perlu khawatir bila harga dari beton pracetak ini akan mahal, karena jika diproduksi secara massal dan seragam dan dengan waktu perakitan yang relatif singkat akan menghemat biaya konstruksi. Bangunan yang akan direncanakan dengan sistem pracetak adalah Gedung Laboratorium Teknik Industri ITS.

Gedung Laboratorium Teknik Industri ITS merupakan gedung sekolah yang dibangun di daerah kampus ITS, Surabaya. Gedung ini terdiri dari 7 lantai yang memiliki tipe yang tipikal dan dibangun dengan beton bertulang biasa dengan metode cor ditempat sehingga membutuhkan waktu yang relatif lama. Karena tuntutan pekerjaan konstruksi yang cepat, maka atas dasar itulah penulis akan memodifikasi gedung tersebut dengan menggunakan metode beton pracetak. Pada sistem ini, ada beberapa hal yang harus diperhatikan. Mulai dari dimensi dari setiap komponen struktur, beban-beban yang terjadi pada struktur, tulangan dari struktur utama, detailing sambungan beton pracetak, dan metode pelaksanaannya.

Dalam merencanakan sistem pracetak, hal pertama yang dilakukan adalah merencanakan dimensi dari setiap elemen

struktur. Hal ini dilakukan agar dapat mengetahui beban mati akibat berat sendiri dari struktur.

Setelah merencanakan dimensi, kemudian menganalisa beban-beban yang terjadi pada struktur. Beban-beban tersebut antara lain beban mati, beban hidup, beban gempa, dan beban angin. Analisa beban-beban dilakukan agar kita bisa mengetahui Bidang N, D, M dari setiap elemen struktur.

Setelah menganalisa beba-beban, kemudian merencanakan tulangan dari struktur utama. Hal ini dilakukan agar diketahui berapa kebutuhan tulangan agar struktur tersebut kuat menerima beban-beban yang terjadi.

Setelah merencanakan penulangan, kemudian merancang detailing sambungan pada komponen beton pracetak. Perancangan detailing sambungan dilakukan agar setiap komponen pracetak menyatu untuk menahan beban yang terjadi.

Hal terakhir yang juga harus diperhatikan adalah bagaimana metode pelaksanaan komponen beton pracetak. Hal ini dilakukan karena beton pracetak dan beton yang dengan metode konvensional memiliki perbedaan pada pelaksanaanya.

## **1.2 Perumusan Masalah**

### **Masalah Utama :**

Bagaimana merancang komponen struktur gedung Laboratorium Teknik Industri ITS menggunakan metode beton pracetak?

### **Detail Masalah :**

Detail masalah yang akan ditinjau pada perencanaan ini adalah:

1. Bagaimana merencanakan dimensi dari setiap komponen struktur?
2. Bagaimana menganalisa beban-beban yang terjadi pada struktur?
3. Bagaimana merencanakan penulangan struktur utama?
4. Bagaimana merancang detailing sambungan komponen beton pracetak?

5. Bagaimana metode pelaksanaan komponen beton pracetak pada gedung Laboratorium Teknik Industri ITS?

### **1.3 Tujuan**

#### **Tujuan Utama :**

Merancang komponen struktur gedung Laboratorium Teknik Industri ITS menggunakan metode beton pracetak sesuai peraturan yang berlaku.

#### **Detail Tujuan :**

1. Merencanakan dimensi dari setiap komponen struktur
2. Menganalisa beban-beban yang terjadi pada struktur
3. Merencanakan penulangan pada struktur utama
4. Merencanakan detail sambungan komponen pracetak
5. Menyusun metode pelaksanaan komponen beton pracetak

### **1.4 Batasan Masalah**

1. Beton pracetak yang digunakan beton pracetak biasa (non prategang)
2. Elemen pracetak yang direncanakan adalah pelat dan balok
3. Kolom menggunakan beton bertulang biasa.
4. Pondasi yang digunakan adalah pondasi tiang pancang
5. Metode pelaksanaan dibatasi dengan elemen pracetak saja
6. Perencanaan tidak termasuk sistem utilitas, kelistrikan dan sanitasi.
7. Tidak menghitung waktu, biaya, dan manajemen konstruksinya.

### **1.5 Manfaat**

Manfaat yang diharapkan dari tugas akhir ini adalah dapat memberikan alternatif dalam pembangunan Gedung Laboratorium Teknik Industri ITS dengan menggunakan beton pracetak. Metode beton pracetak juga lebih cepat dan efisien dalam pelaksanaannya dan telah banyak diterapkan di Indonesia terutama di bidang Teknik Sipil.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Sebenarnya beton pracetak tidak berbeda dengan beton biasa. Namun yang menjadikan berbeda adalah metoda pabrikasinya. Pada umumnya dianggap bahwa penggunaan beton pracetak lebih ekonomis dibandingkan dengan pengecoran ditempat dengan alasan mengurangi biaya pemakaian bekisting, mereduksi biaya upah pekerja karena jumlah pekerja relatif lebih sedikit, mereduksi durasi pelaksanaan proyek sehingga overhead yang dikeluarkan menjadi lebih kecil (Dunham, 1984).

Struktur beton pracetak umumnya direncanakan dengan menganggap struktur tersebut bersifat monolit yang dicor di tempat. Metoda desain seperti ini disebut sebagai pendekatan desain emulasi (Warnes, 1992). Dengan pendekatan ini, sistem struktur pracetak dapat direncanakan sebagai sistem struktur konvensional. Dengan demikian konsep desain kapasitas yang umumnya digunakan dalam perancangan portal konvensional terhadap beban lateral dapat digunakan dalam perancangan portal pracetak. Desain kapasitas ini dapat tercapai dengan menerapkan falsafah *strong column-weak beam* dimana kelelehan pada balok diharapkan terjadi terlebih dahulu sebelum terjadinya kelelehan pada kolom. Dengan demikian sambungan balok-kolom merupakan bagian yang sangat penting dalam mentransfer gaya-gaya antar elemen pracetak yang disambung. Bila tidak direncanakan dengan baik (baik dari segi penempatan sambungan maupun kekuatannya) maka sambungan dapat mengubah aliran gaya pada struktur pracetak, sehingga dapat mengubah hirarki keruntuhan yang ingin dicapai dan pada akhirnya dapat menyebabkan keruntuhan prematur pada struktur (S. Pantazopoulou, 1992).

#### **2.2 Tinjauan Elemen Pracetak**

##### **2.2.1 Pelat**

Pelat merupakan struktur tipis yang dibuat dari beton bertulang dengan bidang yang arahnya horizontal, dan beban yang bekerja tegak lurus pada bidang struktur tersebut. (Ali Asroni, 2010). Pelat diperhitungkan menerima beban gravitasi (beban mati dan beban hidup) yang mengakibatkan terjadinya momen lentur.

Pelat beton dengan menggunakan metode pracetak sudah mulai banyak digunakan dalam perencanaan struktur gedung. Terdapat beberapa jenis pelat beton pracetak yang sering digunakan, yaitu:

- a. Pelat pracetak bentuk Double Tees



**Gambar 2.1** Pelat Pracetak Double Tees

(Sumber: PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition Precast and Prestressed Concrete)

- b. Pelat pracetak berlubang (Hollow Core Slab)



**Gambar 2.2** Hollow Core Slab

(Sumber: PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition Precast and Prestressed Concrete)

- c. Pelat pracetak tanpa lubang (Solid Slab)
- A cross-sectional diagram of a solid precast concrete slab. It is a simple rectangular shape with a uniform thickness. Inside the rectangle, there are six small dots spaced evenly, representing the location of reinforcement bars (rebar).
- Gambar 2.3** Solid Slab
- (Sumber: PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition Precast and Prestressed Concrete)
- 6

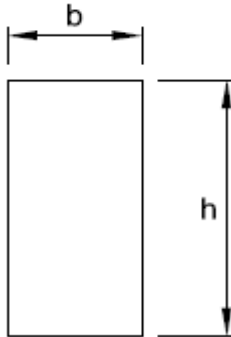


### 2.2.2 Balok

Balok merupakan salah satu elemen struktur dari portal yang memiliki arah bentang horizontal. Beban yang bekerja pada balok adalah beban lentur, beban torsi, sehingga diperlukan tulangan untuk menahan beban-beban tersebut (Ali Asroni, 2010).

Ada beberapa jenis balok pracetak yang sering digunakan, yaitu:

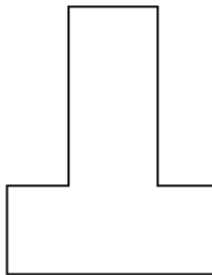
- a. Balok penampang persegi



**Gambar 2.4** Rectangular beam

(Sumber: PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition Precast and Prestressed Concrete)

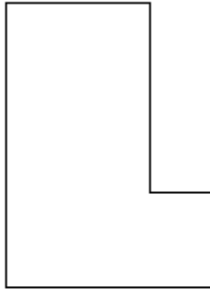
- b. Balok penampang T terbalik



**Gambar 2.5** Inverted Tee Beam

(Sumber: PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition Precast and Prestressed Concrete)

c. Balok Penampang L



**Gambar 2.6** L-Beam

(Sumber: PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition Precast and Prestressed Concrete)

### **2.3 Sambungan Pracetak**

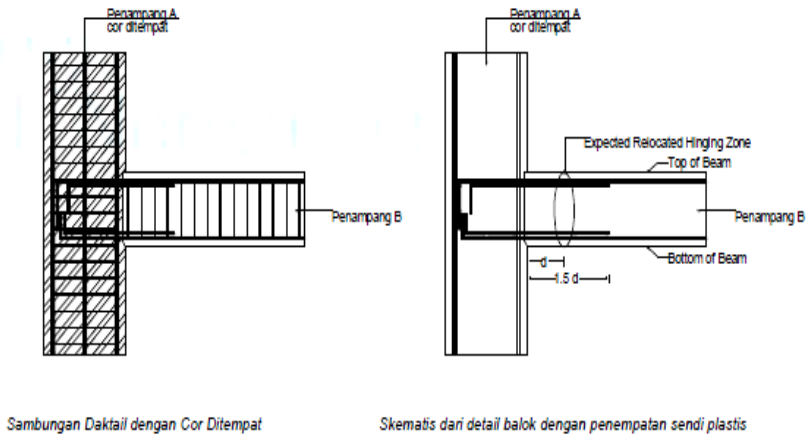
Sambungan merupakan bagian yang sangat penting dalam mentransfer gaya-gaya yang bekerja antar elemen pracetak, sehingga dapat menciptakan kestabilan. (Tjahyono dan Purnomo, 2004). Penempatan dan kekuatan sambungan perlu direncanakan dengan baik karena kekuatan elemen pracetak juga bergantung pada sambungannya. Kegagalan suatu struktur diharapkan tidak terjadi pada sambungannya, sehingga perlu didetailkan dengan teliti. Sambungan yang baik adalah kuat, layak, serta tepat dalam pemasangannya. (Wibowo, 2006).

Terdapat beberapa jenis sambungan dalam teknologi pracetak. Secara umum, terdapat 3 macam sambungan yang sering digunakan antara lain:

a. Sambungan dengan cor ditempat

Penempatan sambungan antara kolom lantai bawah, kolom lantai di atasnya dengan balok dapat terjadi pada satu titik yang sama atau pada titik yang berbeda. Pada penyambungan komponen-komponen beton pracetak sebaiknya dihindari penyambungan dengan jumlah komponen yang besar pada satu titik, hal ini dapat diatasi dengan cara menempatkan sambungan antar kolom di atas titik sambungan antara kolom dengan balok.

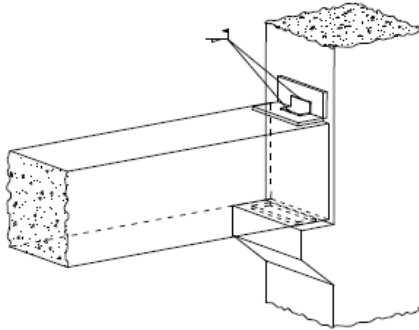
Pelaksanaan penyambungan in-situ concrete joints dapat dibedakan berdasarkan tahap pelaksanaannya menjadi dua yaitu pelaksanaan satu tahap dan pelaksanaan dua tahap (Tihamer Koncs,1979).



**Gambar 2.7** Sambungan cor ditempat

b. Sambungan dengan las dan baut

Alat sambung kering dalam menyatukan komponen beton pracetak digunakan plat baja yang ditanamkan dalam beton dan ditempatkan pada ujung-ujung yang akan disatukan. Fungsi dari plat baja ini adalah meneruskan gaya-gaya sehingga plat baja ini harus benar-benar menyatu dengan material beton. Dalam penyatuan komponen-komponen beton pracetak dapat digunakan alat sambung berupa baut atau las. Untuk menghindari terjadinya korosi pada plat baja, setelah proses penyambungan selesai maka lubang sambungan tersebut harus di-grouting. (Wulfrim, 2006)



**Gambar 2.8** Sambungan las dan baut

c. Sambungan dengan cara prestress

Sambungan komponen beton pracetak dapat dilaksanakan dengan cara prestressed (Allen,1985). Dengan cara penyambungan seperti ini dihasilkan struktur yang monolit.

Berikut ini adalah perbandingan dari metoda penyambungan komponen beton pracetak.

**Tabel 2.1** Perbandingan Metode penyambungan

Deskripsi	In-Situ Concrete Joints	Bolted & Welded Connection
Keutuhan Struktur	Monolit	Kurang Monolit
Waktu yang dibutuhkan agar sambungan dapat berfungsi secara efektif	Perlu setting time	Segera dapat berfungsi
Metoda pemasangan yang sesuai	Horisontal Method	Vertical Method

Jenis sambungan	Basah	Kering
Ketinggian bangunan	-	Max 25 meter
Waktu pelaksanaan	Lebih lama karena membutuhkan waktu untuk setting time	Lebih cepat 25%-40% bila dibandingkan dengan in-situ concrete joints
Toleransi dimensi	Lebih tinggi bila dibandingkan dengan sambungan baut/las	Rendah, sehingga dibutuhkan akurasi yang tinggi selama proses produksi dan pemasangan.
Panjang bentang	Terbatas	Terbatas

(Sumber : Tihamer Koncs, 1979)

## 2.4 Titik Angkat dan Sokongan Pracetak

### 2.4.1 Pengangkatan Pelat Pracetak

Dalam pemasangan pelat pracetak, yang harus diperhatikan adalah pengangkatan pelat sehingga perlu perencanaan terhadap tulangan angkat dengan tujuan menghindari tegangan yang disebabkan oleh fleksibilitas dari truk pengangkut dalam perjalanan menuju lokasi proyek. Kondisi tersebut menimbulkan momen-momen pada elemen pracetak. Untuk pengangkatan dapat menggunakan bantuan balok.

#### a. Empat titik angkat

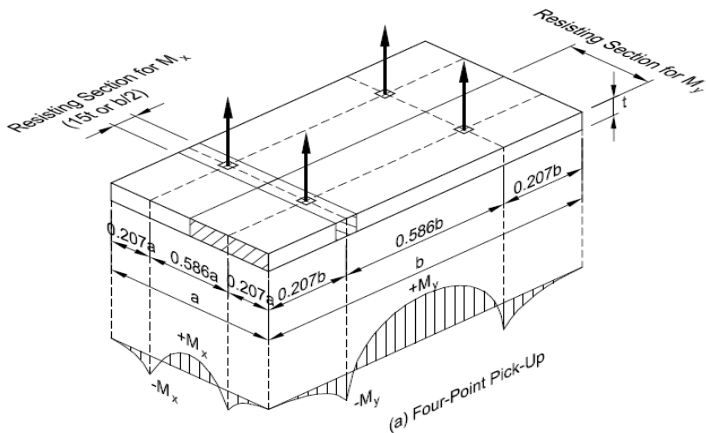
Momen maksimum (pendekatan):

$$+M_x = -M_x = 0,0107 w a^2 b$$

$$+M_y = -M_y = 0,0107 w a b^2.$$

$M_x$  ditahan oleh penampang dengan lebar yang terkecil dan  $15t$  dan  $b/2$ .

$M_y$  ditahan oleh penampang dengan lebar  $a/2$ .



**Gambar 2.9** Gambar posisi titik angkat pelat ( 4 titik angkat).  
(Sumber: PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition Precast and Prestressed Concrete)

b. Delapan titik angkat

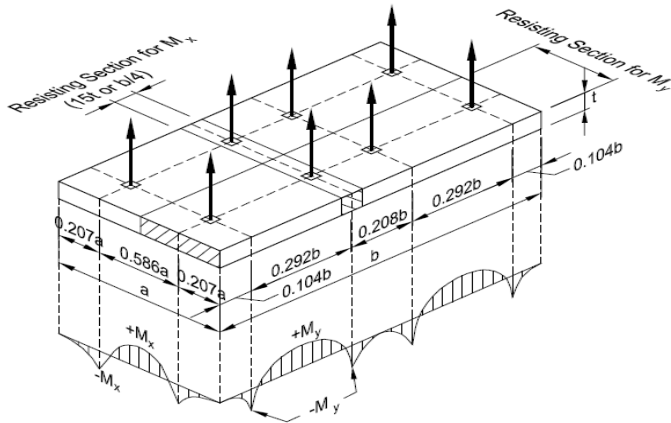
Momen maksimum (pendekatan):

$$+M_x = -M_x = 0,0054 w a^2 b$$

$$+M_y = -M_y = 0,0027 w a b^2.$$

$M_x$  ditahan oleh penampang dengan lebar yang terkecil dan  $15t$  dan  $b/4$ .

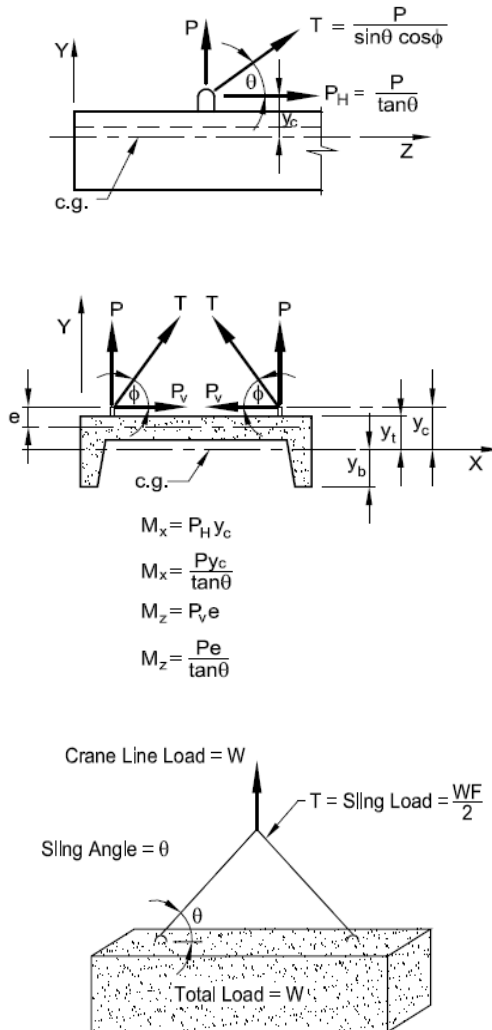
$M_y$  ditahan oleh penampang dengan lebar  $a/2$ .



**Gambar 2.10** Gambar posisi tik angkat pelat ( 8 titik angkat).  
(Sumber: PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition Precast and Prestressed Concrete)

#### 2.4.2 Pengangkatan Balok Pracetak

Elemen balok pracetak harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada saat pengangkatan. Titik pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok tersebut.



**Gambar 2.11** gambar pengangkatan balok pracetak  
(Sumber: PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition Precast and  
Prestressed Concrete)



## **2.5 Metode Pelaksanaan Elemen Pracetak**

Tahapan pelaksanaan metode konstruksi dengan menggunakan sistem elemen pracetak adalah sebagai berikut:

### **1. Tahap produksi**

Pada tahap produksi meliputi pemilihan material penyusun elemen beton pracetak serta proses pembuatan mix desain dan pengecoran elemen pracetak serta penyimpanan elemen pracetak yang sudah jadi. Pada setiap tahapan produksi sudah dilakukan kontrol kualitas (QC), hal ini untuk mengurangi resiko kegagalan produksi.

### **2. Tahap transportasi**

Dalam tahap transportasi ini harus mempertimbangkan faktor-faktor utama berikut ini:

1. Jadwal kegiatan pengangkutan sangat diperlukan oleh kecepatan pemasangan di lapangan. Semakin cepat tingkat pemasangan di proyek maka dibutuhkan pengangkutan yang cepat pula.
2. Kondisi lahan *stockyard* di *site* proyek. Jika lahan *stockyard* semakin besar maka pelaksanaan pengangkutan dapat dipercepat dengan menyetok di lokasi proyek.
3. Ijin pengangkutan/penggunaan jalan
4. Alat angkut (*crane*) di pabrik. Dalam menentukan pilihan alat angkut (*crane*) sangat tergantung dari jenis kebutuhan angkutan dan sistem penyimpanan di pabrik tersebut.

### **3. Tahap pemasangan**

Pada tahap pemasangan, untuk memudahkan pelaksanaan pemasangan elemen beton pracetak di proyek maka harus mengatur faktor-faktor berikut ini:

#### **1. Site Plan**

Site plan untuk pekerjaan dengan menggunakan elemen sistem pracetak. Dalam mengatur site plan membutuhkan keahlian khusus untuk mengatur lahan proyek menjadi sedemikian rupa agar dapat diperoleh kenyamanan dalam

melakukan koordinasi semua kegiatan proyek. Untuk itu harus mengatur:

- a. Posisi tower crane yang paling sesuai sehingga setiap sudut bangunan dapat dijangkau oleh tower crane tersebut sesuai dengan kebutuhan.
- b. *Stockyard* untuk komponen pracetak agar masih dapat dijangkau oleh tower crane baik berat maupun radiusnya.
- c. *Unloading area*, terutama untuk material pareto dan elemen beton pracetak sehingga tidak mengganggu aktivitas pekerjaan di proyek tersebut.
- d. Jalan kerja yang paling baik agar tidak mengganggu kegiatan pekerjaan dan memberikan keamanan (*safety*).
- e. Lokasi penunjang lainnya, seperti kantor kontraktor/pemilik/pengawas, gudang, bengkel alat berat, akses keluar-masuk proyek, pos petugas keamanan, barak pekerja, fasilitas umum lainnya dan lain lain.

## 2. Peralatan

Dalam mengatur tipe peralatan yang diperlukan harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

- a. Luas area dan ketinggian gedung
- b. Berat material terbesar yang akan diangkat dan radius yang dikehendaki
- c. Bentuk material yang akan diangkat apakah berbentuk curah/padat/cair dan lainlain. Bentuk material akan sangat mempengaruhi bucket alat angkut bahkan bisa mempengaruhi jenis alat angkut yang dipakai.
- d. Model pengangkutan yang dominan terjadi di lokasi proyek apakah vertikal atau horisontal.
- e. Cara pelaksanaan pemasangan elemen struktur, apakah perlu menggunakan *temporary equipment* (peralatan sementara) atau cukup dengan menggunakan *permanent equipment* (peralatan permanen) yang akan dipasang di gedung tersebut terutama untuk item pekerjaan finishing. Misalnya cukup dengan

menggunakan gondola permanen di atas gedung atau masih tetap membutuhkan peralatan dari luar.

### 3. Siklus pemasangan

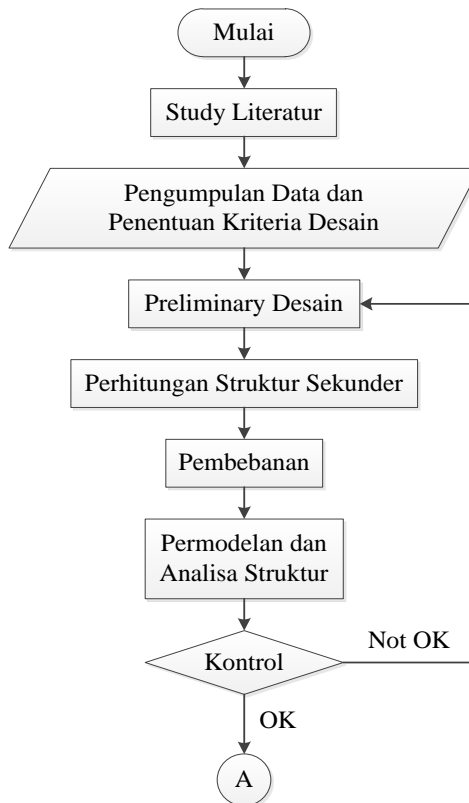
Dalam pemasangan elemen-elemen pracetak harus direncanakan siklus/urutan pemasangan serta dianalisa perilaku beban-beban yang terjadi selama *erection*. Seringkali terjadi kerusakan/*failure* akibat tidak diperhitungkannya perilaku struktur selama proses pelaksanaan/*erection*.

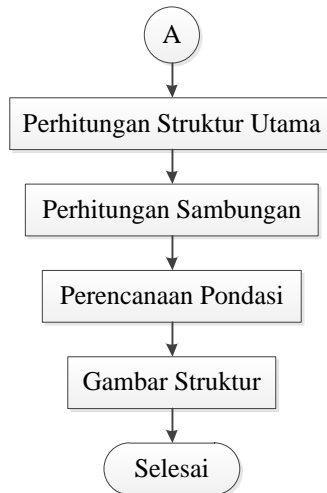
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Diagram Alur Perencanaan

Metodologi ini akan menguraikan dan menjelaskan cara dan urutan pelaksanaan penyelesaian tugas akhir. Mulai dari study literatur, pengumpulan data dan penentuan kriteria desain, preliminary design, permodelan struktur dan pembebanan, analisa dan perhitungan elemen struktur, perencanaan sambungan, lalu output berupa gambar teknik sampai dengan kesimpulan akhir dari tugas akhir ini.





**Gambar 3.1** Diagram Alur Perencanaan

### 3.2 Pengumpulan Data

Data-data bangunan yang digunakan dalam perencanaan ini adalah bangunan apartemen yang menggunakan beton bertulang biasa dengan data-data sebagai berikut:

1. Data umum bangunan
  - Nama gedung : Gedung Laboratorium Teknik Industri ITS
  - Lokasi : ITS Surabaya
  - Luas bangunan : 857,4 m<sup>2</sup>
  - Jumlah lantai : 7 lantai
  - Tinggi bangunan : 38 m
  - Tinggi tiap lantai : 3.8 m
  - Struktur bangunan : Beton bertulang
  - Struktur pondasi : Pondasi tiang pancang
2. Data bahan
  - Mutu beton ( $f_c'$ ) : 25 Mpa
  - Mutu tulangan ( $f_y$ ) : 400 Mpa
3. Data Gambar : (terlampir)

### **3.3 Studi Literatur**

Dalam tugas akhir ini, peraturan yang digunakan antar lain:

1. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013)
2. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 1726:2012)
3. Tata Cara Perhitungan Pembebanan Untuk Bangunan Rumah dan Gedung (SNI 1727:2012)
4. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983)

### **3.4 Pemilihan Kriteria Desain**

Modifikasi gedung akan dirancang dengan menggunakan metode pelaksanaan beton pracetak. Dalam memilih Kriteria desain harus memenuhi syarat kuat dan kelayakan. Kuat artinya bahwa kemampuan elemen struktur lebih besar dari beban yang bekerja. Sementara maksud dari layak artinya batasan struktur tersebut masih dalam toleransi yang diizinkan sesuai peraturan. Pemilihan metode pracetak karena konfigurasi struktur gedung beraturan dan tipikal sehingga akan lebih ideal dan cepat daripada beton cor di tempat.

Untuk menentukan sistem struktur yang cocok untuk bangunan, yang perlu diperhatikan adalah jenis tanah, dan lokasi konstruksi. Setelah mengetahui jenis tanah dan lokasi konstruksi akan didapat kategori desain seismik. Penentuan sistem struktur diatur dalam SNI 1726:2012.

### **3.5 Preliminary Design**

Pada preliminary design ini akan menentukan dimensi elemen struktur gedung untuk digunakan dalam tahap perancangan selanjutnya.

### 3.5.1 Perencanaan Dimensi Kolom

Menurut SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.2 aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur untuk komponen struktur dengan tulangan sengkang biasa, maka faktor reduksi  $\phi = 0,65$ .

$$A = \frac{W}{\phi \times f_c'} \quad (3-1)$$

Dimana,  $W$  = Beban aksial yang diterima kolom  
 $f_c'$  = Kuat tekan beton karakteristik  
 $A$  = Luas penampang kolom

### 3.5.2 Perencanaan Dimensi Balok Induk

Tabel minimum balok non-prategang apabila nilai lendutan tidak dihitung dapat dilihat pada SNI 2847:2013 pasal 9.5.1 tabel 9.5(a). Nilai pada tabel tersebut berlaku apabila digunakan langsung untuk komponen struktur beton normal dan tulangan dengan mutu 420 MPa.

$$\begin{aligned} h_{\min} &= \frac{L}{16} && \text{digunakan apabila } f_y = 420 \text{ Mpa} \\ h_{\min} &= \frac{L}{16} \left( 0,4 + \frac{f_y}{700} \right) && \text{digunakan untuk } f_y \text{ selain } 420 \text{ Mpa} \\ h_{\min} &= \frac{L}{16} (1,65 - 0,003 w_c) && \text{digunakan untuk nilai } w_c \text{ 1440} \end{aligned}$$

sampai 1840 kg/m<sup>3</sup>

Dimana:

$b$  = Lebar balok  
 $h$  = Tinggi balok  
 $L$  = Panjang balok

## 3.6 Perhitungan Struktur Sekunder

### 3.6.1 Penentuan Dimensi Pelat

Dalam menentukan dimensi pelat langkah-langkah perhitungan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan terlebih dahulu apakah pelat tergolong pelat satu arah (*One-way slab*) atau pelat dua arah (*two-way slab*).



2. Tebal minimum pelat satu arah (*One-way slab*) menggunakan rumus sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.1 (tabel 9.5(a)). Sedangkan untuk pelat dua arah menggunakan rumus sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.1
3. Dimensi pelat minimum dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi:
  - a) Untuk  $\alpha_m$  yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus menggunakan SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.2
    1. Tebal pelat tanpa penebalan 120 mm
    2. Tebal pelat dengan penebalan 100 mm
  - b) Untuk  $\alpha_m$  lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0, ketebalan pelat minimum harus memenuhi :

$$h = \frac{\ell_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta (\alpha_m - 0,2)} \quad (3-2)$$

(SNI 2847:2013, persamaan 9-12)

dan tidak boleh kurang dari 125 mm.

- c) Untuk  $\alpha_m$  lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ell_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \quad (3-3)$$

(SNI 2847:2013, persamaan 9-13)

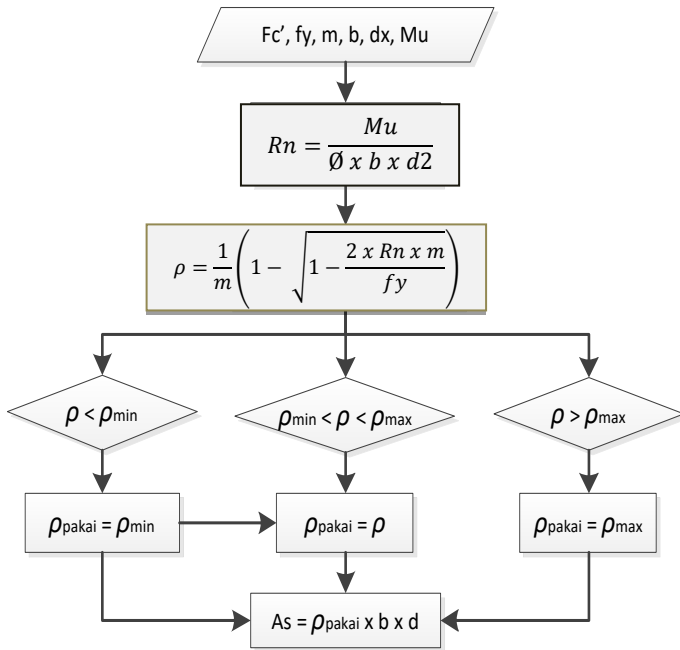
dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

dimana:

$\beta$  = rasio dimensi panjang terhadap pendek

$\alpha_m$  = nilai rata - rata dari  $\alpha_f$  untuk semua balok pada tepi dari suatu panel

### 3.6.1.1 Perhitungan Tulangan Lentur Pelat



**Gambar 3.2** Diagram alir perhitungan penulangan komponen lentur

### 3.6.1.2 Pehitungan Tulangan Susut

Kebutuhan tulangan susut di atur dalam SNI 2847:2013  
Pasal 7.12.2.1

### 3.6.1.3 Kontrol retak

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 14.8.2.4 tulangan dari komponen struktur harus memberikan kekuatan desain

$$\phi M_n \geq M_{cr} \quad (3-4)$$

dimana  $M_{cr}$  harus diperoleh menggunakan modulus hancur,  $f_r$ , yang diberikan pada SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.2

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} \quad (3-5)$$

dan

$$f_r = 0,62\lambda\sqrt{f_c'} \quad (3-6)$$

dimana:

$M_{cr}$  = momen retak

$f_r$  = modulus hancur beton

$I_g$  = momen inersia penampang beton bruto

$y_t$  = jarak dari sumbu pusat penampang bruto ke muka Tarik

$\lambda$  = factor modifikasi ( $\lambda = 1,0$  untuk beton berat normal)

### 3.6.2 Perencanaan Balok Anak

Untuk penentuan dimensi balok anak perhitungan sama dengan perhitungan balok induk. Beban pelat yang diteruskan ke balok anak dihitung sebagai beban trapesium, segitiga dan dua segitiga. Beban ekivalen ini selanjutnya akan digunakan untuk menghitung gaya-gaya dalam yang terjadi di balok anak untuk menentukan tulangan lentur dan geser (perhitungan tulangan longitudinal sama dengan pelat).

### 3.6.3 Perencanaan Tangga

Perencanaan desain awal tangga mencari lebar dan tinggi injakan.

$$60 \text{ cm} \leq 2t + i \leq 65 \text{ cm} \quad (3-7)$$

Dimana :

$t$  = tinggi injakan

$i$  = lebar injakan

$\alpha$  = sudut kemiringan tangga ( $25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$ )

Untuk penulangan tangga, perhitungan penulangan bordes dan pelat dasar tangga dilakukan sama dengan perencanaan tulangan pelat dengan anggapan tumpuan sederhana (sendi dan

rol). Perencanaan tebal tangga ditentukan sesuai ketentuan dalam perhitungan dimensi awal pelat.

### **3.6.4 Perencanaan Lift**

Lift merupakan alat transportasi manusia dalam gedung dan satu tingkat ke tingkat lain. Perencanaan lift disesuaikan dengan pemikiran jumlah lantai dan perkiraan jumlah pengguna lift. Dalam perencanaan lift, metode perhitungan yang dilakukan merupakan analisis terhadap konstruksi ruang tempat lift dan balok penggantung katrol lift.

Ruang landasan diberi kelonggaran (lift pit) supaya pada saat lift mencapai lantai paling bawah, lift tidak menumbuk dasar landasan, disamping berfungsi pula menahan lift apabila terjadi kecelakaan, misalnya tali putus. Perencanaan ini mencakup perencanaan balok penumpu depan, penumpu belakang, dan balok penggantung lift. Perencanaan lift tidak termasuk elektrik dan mekanikalnya

## **3.7 Pembebanan**

Dalam melakukan analisa desain suatu struktur, perlu ada gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur. Perilaku suatu struktur sangat dipengaruhi oleh beban-beban yang bekerja padanya. Beban yang bekerja pada suatu struktur ada beberapa jenis menurut karakteristik, yaitu beban statis dan beban dinamis. Berikut ini akan menjelaskan lebih detail mengenai pembebanan sesuai dengan ketentuan berdasarkan SNI 1726:2012, SNI 2847:2013 dan PPIUG 1983.

### **3.7.1 Beban Statis**

Beban statis adalah beban yang bekerja secara terus-menerus pada struktur dan juga yang diasosiasikan timbul secara perlahan-lahan, dan mempunyai karakter steady-states yaitu bersifat tetap. Jenis-jenis beban statis menurut Peraturan

Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 adalah sebagai berikut.

a. Beban Mati

Beban mati adalah beban-beban yang bekerja vertikal ke bawah pada struktur dan mempunyai karakteristik bangunan, seperti misalnya penutup lantai, alat mekanis, dan partisi yang dapat dipindahkan. Beban mati yang digunakan pada perancangan berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983) yang tertera pada Tabel 3.1.

**Tabel 3. 1** Beban mati pada struktur

<b>Beban Mati</b>	<b>Besar Beban</b>
Batu Alam	2600 kg/m <sup>2</sup>
Beton Bertulang	2400 kg/m <sup>2</sup>
Dinding Pasangan ½ Bata	250 kg/m <sup>2</sup>
Kaca Setebal 12 mm	30 kg/m <sup>2</sup>
Langit-langit + Penggantung	18 kg/m <sup>2</sup>
Lantai Ubin Semen Portland	24 kg/m <sup>2</sup>
Spesi per cm tebal	21 kg/m <sup>2</sup>

(sumber: PPIUG 1983)

b. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban-beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Semua beban hidup mempunyai karakteristik dapat berpindah atau bergerak. Secara umum beban ini bekerja dengan arah vertikal ke bawah, tetapi kadang – kadang dapat berarah horizontal. Beban hidup diperhitungkan berdasarkan pendekatan matematis dan menurut kebiasaan yang berlaku pada pelaksanaan konstruksi di Indonesia. Untuk menentukan secara pasti beban hidup yang bekerja pada suatu lantai bangunan sangatlah sulit, dikarenakan fluktuasi beban hidup bervariasi, tergantung dan banyak faktor. Oleh karena itu, faktor beban – beban hidup lebih besar dibandingkan dengan beban mati. Peraturan yang digunakan

dalam perancangan beban hidup pada Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983) Tabel 3.2.

**Tabel 3. 2** Beban hidup pada struktur

<b>Beban Hidup</b>	<b>Besar Beban</b>
Lantai Perkantoran / Hotel	250 kg/m <sup>2</sup>
Lantai Ruang-ruang Balkon	400 kg/m <sup>2</sup>
Tangga dan Bordes	300 kg/m <sup>2</sup>
Lantai Ruang Alat dan Mesin	400 kg/m <sup>2</sup>
Beban Pekerja	100 kg/m <sup>2</sup>

(sumber: PPIUG 1983)

### **3.7.2 Beban Gempa**

Beban gempa berdasarkan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 1726:2012). Pembebanan gravitasi struktur pada Sistem Rangka Pemikul Momen hanya diterima oleh frame. Pembebanan ini termasuk beban mati dan beban hidup yang terjadi pada struktur. Perencanaan Beban Gempa pada struktur menggunakan metode diafragma, dimana pengaruh pada struktur dibebankan langsung kepusat massa bangunan (*center of mass*). Gaya geser dasar akibat gempa diperoleh dengan mengalikan berat gedung dengan faktor-faktor modifikasi sesuai dengan peraturan pembebanan yang ada.

Analisa beban gempa bedasarkan SNI 1726:2012 meliputi:

- Penentuan respon spektrum

Penentuan wilayan gempa dapat dilihat pada gambar 9 dan 10 SNI 1726:2012

- Respon seismik ( $C_s$ )

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-8)$$

(Persamaan 7.8-2 SNI 1726:2012)

Dimana:

$S_{DS}$  = percepatan spektrum respons disain dalam rentan periode pendek

$R$  = faktor modifikasi respons dalam tabel 7.2-1 (SNI 1726:2012)

$I_e$  = faktor keutamaan hunian yang ditentukan sesuai dengan Tabel 6.4

nilai  $C_s$  max tidak lebih dari:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)} \quad (3-9)$$

- Gaya geser dasar dan gaya seismik lateral

$$V = C_s \times W \quad (3-10)$$

$$C_{v,x} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3-11)$$

dimana:

$C_s$  = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1.1

$W$  = berat seismik efektif menurut SNI 1726:2012 Pasal 7.7.2

### 3.7.3 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 9.2.1

- 1)  $U = 1,4 D$
- 2)  $U = 1,2 D + 1,6 L$
- 3)  $U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E$
- 4)  $U = 1,0 D + 1,0 L$

$$5) U = 0,9 D \pm 1,0 E$$

Dimana:

U = beban ultimate

D = beban mati

L = beban hidup

E = beban gempa

### **3.8 Permodelan dan Analisa Struktur**

Permodelan dan analisa struktur dilakukan untuk mengetahui perilaku struktur akibat pembebanan, baik beban gravitasi maupun beban lateral. Output dari permodelan ini antara lain untuk mengetahui perilaku struktur secara keseluruhan dan perilaku komponen struktur. Perilaku struktur secara keseluruhan antara lain: partisipasi massa harus memenuhi, simpangan per lantai harus memenuhi, serta gaya geser gempa harus mendekati total reaksi horizontal di perletakan. Sedangkan perilaku komponen struktur meliputi komponen kolom dan balok yang ditinjau dari gaya dalam yang didapat dari permodelan struktur. Gaya dalam pada kolom yang perlu diperhatikan antara lain aksial, momen arah x dan y, torsi, geser. Gaya dalam pada balok antara lain momen, geser dan torsi.

Permodelan dan analisa struktur dilakukan dengan menggunakan program bantu SAP2000 dengan langkah-langkah permodelan sebagai berikut: Menggambar permodelan struktur, mendesain material dan penampang, memasukkan beban gravitasi dan beban lateral, perletakan diasumsikan sebagai jepit-jepit, kemudian dilakukan running, setelah itu dilakukan pengecekan apakah struktur tersebut sesuai dengan persyaratan atau tidak.

### **3.9 Perhitungan Struktur Utama**

Perhitungan perencanaan struktur utama dilakukan setelah perhitungan untuk elemen sekunder beserta gaya-gaya dalam yang diperoleh dari hasil analisa struktur, selanjutnya pendetailan elemen-elemen struktur utama. Perencanaan struktur ini meliputi



perencanaan penulangan lentur dan perencanaan penulangan geser.

### 3.9.1 Perencanaan Balok Induk

#### 3.9.1.1 Perhitungan Tulangan Lentur Balok

Tahapan yang digunakan dalam menentukan tulangan lentur plat adalah sebagai berikut:

1. Menentukan data-data  $d$ ,  $f_y$ ,  $f'_c$ , dan  $\mu$
2. Menentukan harga  $\beta_1$

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \frac{(f'_c - 28)}{7} \quad (3-12)$$

*SNI 2847:2013 pasal (10.2.7.3)*

3. Menentukan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang disyaratkan sebagai berikut :

$$\rho_b = \frac{0.85 \beta_1 f'_c}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (3-13)$$

*SNI 2847:2013 lampiran B (8.4.2)*

$$\rho_{\max} = 0.025 \quad (3-14)$$

*SNI 2847:2013 pasal (21.5.2.1)*

$$\rho_{\max} = 0.75 \rho_b \quad (3-15)$$

*SNI 2847:2013 lampiran B (10.3.3)*

$$\rho_{\min} = \frac{0.25 \sqrt{f'_c}}{f_y} \quad (3-16)$$

*SNI 2847:2013 pasal (10.5.1)*

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} \quad (3-17)$$

*SNI 2847:2013 pasal (10.5.1)*

Dari kedua harga  $\rho_{\min}$  tersebut, diambil harga yang terbesar sebagai yang menentukan.

4. Menentukan harga  $m$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} \quad (3-18)$$

5. Menentukan

$$Rn = \frac{Mn}{\phi b d^2} \quad (3-19)$$

Diketahui harga  $\phi = 0.75$

SNI 2847:2013 pasal (9.3.2.7)

6. Hitung rasio tulangan yang dibutuhkan :

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2xmRn}{f_y}} \right) \quad (3-20)$$

Dimana :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{pakai}} < \rho_{\max}$$

7. Menentukan luas tulangan (AS) dari  $\rho$  yang didapat

$$\rho = \frac{A_s}{b x d} \longrightarrow A_s = \rho b x d \quad (3-21)$$

$$8. \text{ Jumlah tulangan} = \frac{A_s \text{ per tul}}{1/4 \times \pi \times \phi^2} \quad (3-22)$$

$$9. \text{ Jarak tulangan} = \frac{b - n \times \phi_L - 2d' - 2\phi_s}{n-1} \quad (3-23)$$

### 3.9.1.2 Perhitungan Tulangan Geser Balok

Perencanaan penampang geser harus didasarkan sesuai SNI 2847:2013, Pasal 11.1.1 persamaan 11-1 yaitu harus memenuhi  $\phi V_n \geq V_u$ ,

dimana:

$V_n$  = kuat geser nominal penampang

$V_u$  = kuat geser terfaktor pada penampang

$\Phi$  = reduksi kekuatan untuk geser = 0,75

Kuat geser nominal dari penampang merupakan sumbangan kuat geser beton ( $V_c$ ) dan tulangan ( $V_s$ )

$$V_n = V_c + V_s \quad (3-24)$$

SNI 2847:2013, Pasal 11.1.1 persamaan 11-2

Dan untuk

$$V_c = 0,17 \alpha \sqrt{f' c} b_w d \quad (3-25)$$

SNI 2847:2013, Pasal 11.2.1.1 persamaan 11-3

Perencanaan penampang terhadap geser harus didasarkan pada:

$$\phi V_n \geq V_u \quad (3-26)$$

SNI 2847:2013, Pasal 11.1

dimana:

$V_u$  = geser terfaktor pada penampang yang ditinjau

$V_n$  = Kuat geser nominal

$V_c$  = Kuat geser beton

$V_s$  = Kuat geser nominal tulangan geser

### 3.9.1.3 Kontrol Torsi

Pengaruh torsi harus diperhitungkan apabila:

$$T_u \leq \frac{\phi \sqrt{f' c}}{12} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}^2} \right) \quad (3-27)$$

SNI 2847:2013, Pasal 11.5.1

Perencanaan penampang terhadap torsi:

$$T_u \leq \phi T_n \quad (3-28)$$

SNI 2847:2013, Pasal 11.5.3.5 pers.11-20

Tulangan sengkang untuk puntir:

$$T_n = \frac{2.A_0.A_t.f_y}{s} \cot \theta \quad (3-29)$$

SNI 2847:2013, Pasal 11.5.3.6 pers.11-21

Dimana:

$T_u$  = Momen torsi terfaktor

$T_n$  = Kuat momen torsi

$T_c$  = Kuat torsi nominal yang disumbang oleh beton

$T_s$  = Kuat momen torsi nominal tulangan geser

$A_0$  = Luas yang dibatasi oleh lintasan aliran geser mm<sup>2</sup>

### 3.9.2 Perencanaan Kolom

Detail penulangan kolom akibat beban aksial tekan harus sesuai SNI 2847:2013 Pasal 21.3.5.1. Sedangkan untuk perhitungan tulangan geser harus sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 23.5.1.

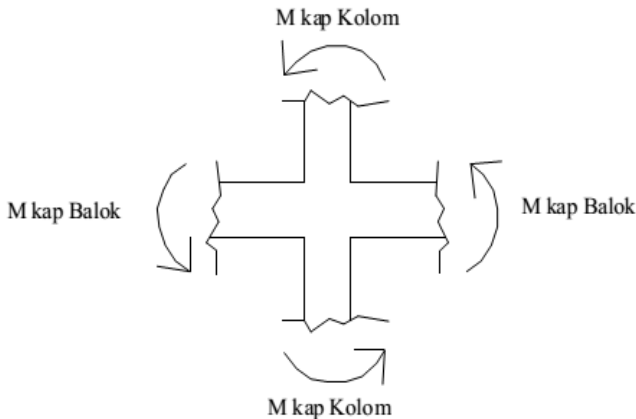
#### 3.9.2.1 Persyaratan “Strong Column Weak Beams”

Sesuai dengan filosofi desain kapasitas, maka SNI 2847:2013 pasal 21.6.2 mensyaratkan bahwa.

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \quad (3-30)$$

SNI 2847:2013 pasal 21.6.2

Dimana  $\sum M_{nc}$  adalah momen kapasitas kolom dan  $\sum M_{nb}$  merupakan momen kapasitas balok. Perlu dipahami bahwa  $M_{nc}$  harus dicari dari gaya aksial terfaktor yang menghasilkan kuat lentur terendah, sesuai dengan arah gempa yang ditinjau yang dipakai untuk memeriksa syarat *strong column weak beam*. Setelah kita dapatkan jumlah tulangan untuk kolom, maka selanjutnya adalah mengontrol apakah kapasitas kolom tersebut sudah memenuhi persyaratan strong kolom weak beam.



**Gambar 3.3** Ilustrasi kuat momen yang bertemu di HBK

### 3.10 Perencanaan Sambungan

Kelemahan konstruksi pracetak adalah terletak pada sambungan yang relatif kurang kaku atau monolit, sehingga lemah terhadap beban lateral khususnya dalam menahan beban gempa, mengingat Indonesia merupakan daerah dengan intensitas gempa yang cukup besar. Untuk itu sambungan antara elemen balok pracetak dengan kolom maupun dengan plat pracetak direncanakan supaya memiliki kekakuan seperti beton monolit (*cast in place emulation*).

Dengan metode konstruksi semi pracetak, yaitu elemen pracetak dengan tuangan beton *cast in place* di atasnya, maka diharapkan sambungan elemen-elemen tersebut memiliki perilaku yang mendekati sama dengan struktur monolit. Untuk menjamin kekakuan dan kekuatan pada detail sambungan ini memang butuh penelitian mengenai perilaku sambungan tersebut terhadap beban gempa. Berdasarkan beberapa referensi hasil penelitian yang dimuat dalam PCI Journal, ada rekomendasi pendetailan sambungan elemen pracetak dibuat dalam kondisi daktail sesuai dengan konsep desain kapasitas strong coloumn weak beam.

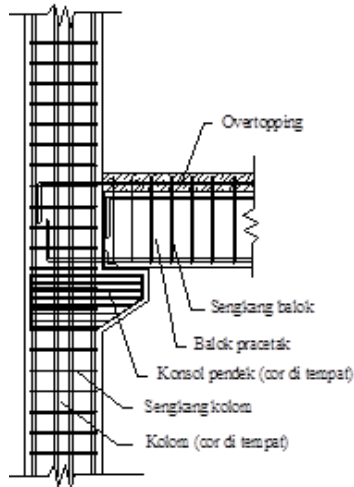
Dalam perencanaan sambungan pracetak, gaya – gaya disalurkan dengan cara menggunakan sambungan grouting, kunci geser, sambungan mekanis, sambungan baja tulangan, pelapisan

dengan beton bertulang cor setempat, atau kombinasi cara – cara tersebut. Dalam penulisan tugas akhir ini digunakan sambungan dengan pelapisan beton bertulang cor setempat.

### **3.10.1 Perencanaan Sambungan Balok Pracetak Dengan Kolom**

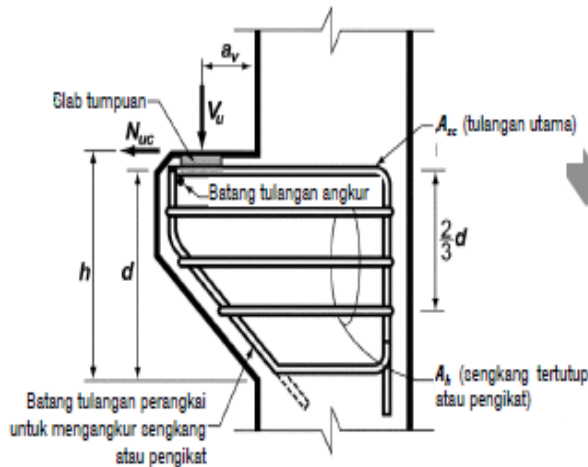
Sambungan antara balok pracetak dengan kolom harus bersifat kaku atau monolit. Oleh sebab itu pada sambungan elemen pracetak ini harus direncanakan sedemikian rupa sehingga memiliki kekakuan yang sama dengan beton cor di tempat. Untuk menghasilkan sambungan dengan kekakuan yang relatif sama dengan beton cor di tempat, dapat dilakukan beberapa hal berikut ini.

- Kombinasi dengan beton cor di tempat (*topping*), dimana permukaan balok pracetak dan kolom dikasarkan dengan amplitudo 5 mm.
- Pendetailan tulangan sambungan yang dihubungkan atau diikat secara efektif menjadi satu kesatuan, sesuai dengan aturan yang diberikan dalam SNI 2847:2013 pasal 7.13, yaitu tulangan menerus atau pemberian kait standar pada sambungan ujung.
- Pemasangan dowel dan pemberian grouting pada tumpuan atau bidang kontak antara balok pracetak dan kolom untuk mengantisipasi gaya lateral yang bekerja pada struktur.



**Gambar 3.4**Sambungan balok dengan kolom  
(Sumber: Kalingga, 2015)

Pada perancangan sambungan balok dan kolom ini menggunakan konsol pendek. Balok induk diletakkan pada konsol pendek pada kolom kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol berdasarkan SNI2847:2013 pasal 11.8 mengenai ketentuan khusus untuk konsol pendek.

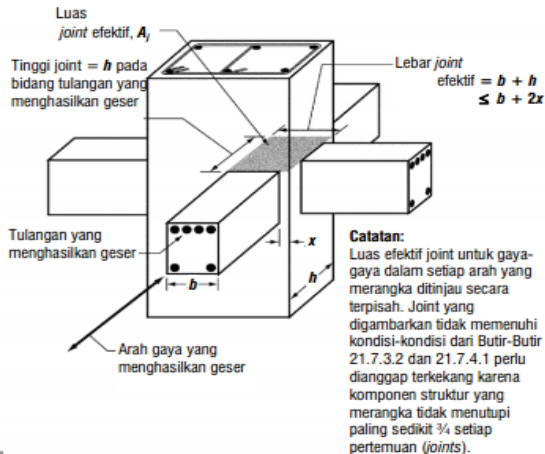


**Gambar 3.5** Parameter geometri konsol pendek  
(Sumber: SNI 2847:2013)

Untuk pemakaian sambungan monolit, harus dipenuhi semua kriteria untuk struktur beton bertulang yang monolit, yaitu kekuatan, kelakuan, daktilitas, dst. Sementara bila sambungan kuat yang akan dipakai, harus diyakinkan akan berlangsungnya mekanisme kolom kuat-balok lemah. Pada sambungan balok-kolom harus didesain terjadinya pelelehan lentur di dalam sambungan, sementara pada sambungan kuat pelelehan harus terbentuk di luar sambungan, yaitu paling tidak pada jarak setengah tinggi balok di luar muka kolom. Selanjutnya, baik sambungan balok-kolom daktail maupun kuat harus memenuhi semua persyaratan SNI 2847:2013 pasal 21.8

Kuat geser nominal,  $V_n$  pada daerah hubungan balok-kolom tidak boleh melebihi nilai yang disebutkan pada SNI 2847:2013 pasal 21.7.4



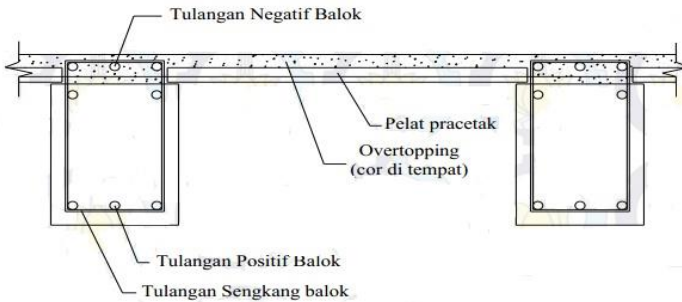


**Gambar 3.6 Hubungan Balok Kolom**  
(Sumber: SNI 2847:2013)

### 3.10.2 Perencanaan Sambungan Balok Pracetak Dengan Pelat Pracetak

Untuk menghasilkan sambungan yang bersifat kaku, monolit, dan terintegrasi pada elemen-elemen ini, maka harus dipastikan gaya-gaya yang bekerja pada pelat pracetak tersalurkan pada elemen balok. Hal ini dapat dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut.

- Sambungan balok induk pracetak dengan pelat pracetak menggunakan sambungan basah yang diberi overtopping yang umumnya digunakan 50 mm – 100 mm
- Kombinasi dengan beton cor di tempat (topping), dimana permukaan pelat pracetak dan beton pracetak dikasarkan dengan amplitudo 5 mm.
- Pendetailan tulangan sambungan yang dihubungkan atau diikat secara efektif menjadi satu kesatuan, sesuai dengan aturan yang diberikan dalam SNI 2847:2013 pasal 7.13.
- *Grouting* pada tumpuan atau bidang kontak antara plat pracetak dengan balok pracetak.

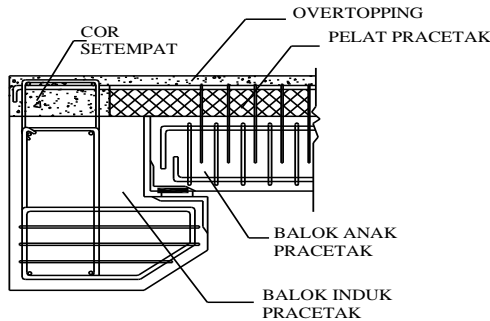


**Gambar 3.7** Sambungan Antara Balok dengan Pelat  
(Sumber: Kalingga, 2015)

### 3.10.3 Perencanaan Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak

Balok anak diletakkan menumpu pada tepi balok induk dengan ketentuan panjang landasan adalah sedikitnya  $1/180$  kali bentang bersih komponen plat pracetak, tapi tidak boleh kurang dari 75 mm. Untuk membuat integritas struktur, maka tulangan utama balok anak baik yang tulangan atas maupun bawah dibuat menerus atau dengan kait standar yang pendetailannya sesuai dengan aturan SK SNI 2847:2013.

Dalam perancangan sambungan balok induk dengan balok anak digunakan konsol pada balok induk. Balok anak diletakkan pada konsol pendek pada balok induk, kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada balok induk ini sama dengan perencanaan konsol pada kolom.



**Gambar 3.8** Sambungan balok induk dengan balok anak  
(Sumber: Kalingga, 2015)

### 3.11 Perencanaan Pondasi

Dalam perencanaan pondasi untuk suatu konstruksi dapat digunakan beberapa macam tipe pondasi. Pemilihan tipe pondasi ini didasarkan atas:

- Fungsi bangunan atas yang akan dipikul oleh pondasi tersebut
- Besarnya beban dan beratnya bangunan atas
- Keadaan tanah dimana bangunan tersebut akan didirikan
- Biaya pondasi dibandingkan biaya bangunan atas

Pemakaian tiang pancang digunakan untuk pondasi suatu bangunan bila tanah dasar di bawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya atau bila tanah keras yang mampu memikul berat bangunan dan bebannya letaknya sangat dalam.

Struktur pondasi direncanakan dengan menggunakan pondasi dalam, yaitu tiang pancang. Perhitungan kekuatan pondasi berdasarkan data tanah yang didapat dari tes sondir.

Nilai Konus diambil 4 D keatas & 4 D kebawah

$$P \text{ ijin 1 tiang} = \frac{A \text{ tiang} \times C_n}{Sf_1} + \frac{JHP \times Q}{Sf_2} \quad (3-33)$$

$$Sf_1 = (2 - 3)$$

$$Sf_2 = (5 - 8)$$

### 3.11.1 Kebutuhan Tiang Pancang

Jumlah tiang pancang yang dibutuhkan

$$n = \frac{\sum P}{P_{ijin}} \quad (3-34)$$

$$S \geq \frac{1,57(D) \min - 2D}{m + n - 2} \quad (3-35)$$

Kontrol tegangan yang terjadi pada tiang pancang

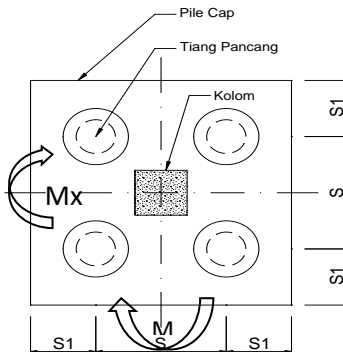
$$P_{satuTP} = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{MyX_{\max}}{\sum x^2} \pm \frac{MxY_{\max}}{\sum y^2} \quad (3-36)$$

Efisiensi satu tiang pancang:

$$\eta = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \quad (3-37)$$

Dimana,  $\theta = \arctan \left( \frac{D}{S} \right)$

$P_{ult} = \text{Efisiensi tiang} \times P_u \text{ 1 tiang berdiri}$



**Gambar 3.9** Ilustrasi Pondasi Tiang Pancang  
(Sumber: Kalingga, 2015)

### 3.11.2 Perencanaan Terhadap Geser

a) Kontrol geser satu arah

$$\phi V_c \geq V_u$$

$$\phi \frac{1}{6} \sqrt{f' c} b_o d \geq V_u \quad (3-38)$$

b) Kontrol geser dua arah (geser ponds)

Dalam merencanakan tebal poer, harus memenuhi persyaratan bahwa kekuatan gaya geser nominal harus lebih besar dari geser ponds yang terjadi. Kuat geser yang disumbangkan beton diambil terkecil dari:

$$\bullet \quad V_c = 0.17 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f' c} b_o d \quad (3-39)$$

SNI 2847:2013 pasal 11.11.12.1(a)

$$\bullet \quad V_c = 0.083 \left( \frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f' c} b_o d \quad (3-40)$$

SNI 2847:2013 pasal 11.11.12.1(b)

$$\bullet \quad V_c = 0.33 \lambda \sqrt{f' c} b_o d \quad (3-41)$$

SNI 2847:2013 pasal 11.11.12.1(c)

Dimana :

$\beta$  = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek pada kolom

$b_o$  = keliling pada penampang kritis pada poer

$$= 2(b_{\text{kolom}} + d) + 2(h_{\text{kolom}} + d)$$

$\alpha_s \rightarrow 30$ , untuk kolom tepi

$\rightarrow 40$ , untuk kolom tengah

$\rightarrow 20$ , untuk kolom pojok

$\phi V_c > P_u$ .....OK (Ketebalan dan ukuran poer memenuhi syarat terhadap geser)

### 3.12 Penggambaran Hasil Perhitungan

Penggambaran hasil perencanaan dan perhitungan dalam tugas akhir ini menggunakan program AutoCAD.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB IV PEMBAHASAN**

### **4.1 Preliminary Desain**

#### **4.1.1 Umum**

Preliminary desain merupakan tahapan perhitungan dalam perancangan untuk merencanakan dimensi awal dari suatu elemen struktur. Elemen struktur sendiri terbagi dalam elemen struktur primer atau struktur utama dan struktur sekunder. Struktur sekunder merupakan bagian dari struktur gedung yang tidak menahan kekakuan secara keseluruhan, namun tetap mengalami tegangan-tegangan akibat pembebanan yang bekerja pada bagian tersebut secara langsung, ataupun tegangan akibat perubahan bentuk dari struktur primer. Bagian perancangan struktur sekunder ini meliputi pelat dan tangga. Sebelum menentukan dimensi pelat, perlu diadakan preliminary design untuk menentukan besarnya pembebanan yang terjadi pada pelat. Perhitungan preliminary design mengikuti peraturan SNI-03-2847-2013.

#### **4.1.2 Data Perencanaan**

Sebelum perhitungan preliminary desain perlu diketahui terlebih dahulu data perencanaan dan beban-beban yang diterima struktur gedung tersebut. Pada perencanaan gedung Laboratorium Teknik Industri ITS dimodifikasi menggunakan beton pracetak biasa dengan data perencanaan sebagai berikut :

- Fungsi bangunan : Gedung Sekolah.
- Lokasi : ITS Surabaya
- Jumlah Lantai : 10 Lantai.
- Ketinggian Lantai : 3,80 m
- Tinggi Bangunan : 38 m.
- Total luas area : 857,4 m<sup>2</sup>
- Mutu beton ( $f'_c$ ) : Balok : 25 MPa  
Kolom : 25 MPa
- Mutu baja ( $f_y$ ) : 400 MPa

#### **4.1.3 Pembebanan**

### 1. Beban Statis (SNI 03-1727-2012)

#### ❖ Beban Mati

- Berat sendiri beton bertulang :  $2400 \text{ kg/m}^3$
- Tegel :  $24 \text{ kg/m}^2$
- Dinding  $\frac{1}{2}$  bata :  $250 \text{ kg/m}^3$
- Plafond :  $11 \text{ kg/m}^2$
- Penggantung :  $7 \text{ kg/m}^2$
- Plumbing + duckting :  $25 \text{ kg/m}^2$
- Spesi :  $21 \text{ kg/m}^2$

#### ❖ Beban Hidup

- Beban atap :  $100 \text{ kg/m}^2$
- Lantai :  $250 \text{ kg/m}^2$
- Pelat tangga dan bordes :  $300 \text{ kg/m}^2$

### 2. Beban Angin

- Jauh dengan pantai :  $25 \text{ kg/m}^2$

### 3. Beban Gempa

- Perencanaan dan perhitungan struktur terhadap gempa dilakukan menurut SNI 03-1726-2012.

## 4.1.3 Pembebanan

### 1. Beban Gravitasi

#### ➤ Beban Mati (PPIUG 1983)

- Berat sendiri beton bertulang :  $2400 \text{ kg/m}^3$
- Tegel :  $24 \text{ kg/m}^3$
- Dinding  $\frac{1}{2}$  bata :  $250 \text{ kg/m}^3$
- Plafond :  $11 \text{ kg/m}^3$
- Penggantung :  $7 \text{ kg/m}^3$
- Plumbing + duckting :  $25 \text{ kg/m}^3$
- Spesi :  $21 \text{ kg/m}^3$

#### ➤ Beban Hidup

- Beban pekerja :  $100 \text{ kg/m}^3$
- Lantai perkantoran :  $250 \text{ kg/m}^3$
- Tangga dan bordes :  $300 \text{ kg/m}^3$

### 2. Beban Gempa



Perencanaan dan perhitungan struktur terhadap gempa dilakukan menurut SNI 03-1726-2012.

#### 4.1.4 Perencanaan Dimensi Balok

Modifikasi dalam tugas akhir ini menggunakan balok yang penampangnya berbentuk persegi (rectangular beam). Perencanaan balok dilakukan dalam dua tahap, tahap pertama balok pracetak dibuat dengan sistem pabrikasi yang kemudian pada tahap kedua dilakukan penyambungan dengan menggunakan sambungan basah. Pada tahap kedua balok dipasang dengan pengangkatan ke lokasi proyek lalu dilakukan over-topping (cor in site) setelah sebelumnya dipasang terlebih dahulu pelat pracetak. Dengan sistem tersebut maka akan membentuk struktur yang monolit.

Dimensi balok yang diisyaratkan pada SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.2.1 yang tertera pada Tabel 9.5.1 adalah sebagai berikut:

$$h_{\min} = \frac{1}{16} L_b$$

Untuk lebar balok diambil 2/3 dari tinggi balok :

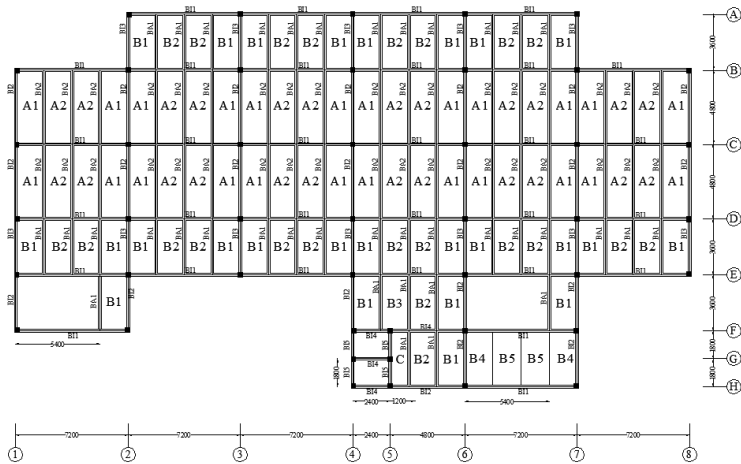
$$b = \frac{2}{3}h$$

dimana :

b = lebar balok

h = tinggi balok

$L_b$  = lebar kotor dari balok



**Gambar 4.1** Denah pembalok

#### 4.1.4.1 Dimensi Balok Induk

Dimensi balok induk direncanakan sebagai balok dengan dua tumpuan sederhana dengan mutu beton 25 Mpa dan mutu baja 400 Mpa sehingga digunakan :

❖ **Balok induk 1 : L = 7.2 meter**

$$h_{\min} = \frac{1}{16} L_b = \frac{1}{16} \times 720 \text{ cm} = 45 \text{ cm}$$

$h_{\min} = 45 \text{ cm}$  digunakan  $h = 60 \text{ cm}$  (untuk meletakkan konsol balok anak dan *overtopping* pelat lantai)

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 60 \text{ cm} = 40 \text{ cm}$$

$b = 40 \text{ cm}$  digunakan  $b = 40 \text{ cm}$

Maka direncanakan dimensi balok induk 1 dengan dimensi 40/60.

Perhitungan balok induk lain di rangkum dalam tabel berikut :

**Tabel 4.1** Rekapitulasi Dimensi Balok Induk

Kode Balok	Bentang Bersih (Lb)	h min	h pakai	b min	b pakai	Dimensi
Induk	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	
BI 1	7,2	45	60	40	40	40/60
BI 2	4,8	30	60	40	40	40/60
BI 3	3,6	22,5	60	40	40	40/60
BI 4	2,4	15	60	40	40	40/60

**4.1.4.2 Dimensi Balok Anak**

Dimensi balok anak direncanakan sebagai balok pada dua tumpuan menerus dengan mutu beton 25 Mpa dan mutu baja 400 Mpa sehingga digunakan :

$$h_{\min} = \frac{1}{21} L \quad (\text{SNI 03-2847-2013 Tabel 9.5.a})$$

$$b = \frac{2}{3} h$$

Dimana :

b = lebar balok

h = tinggi balok

maka dimensi balok anak adalah :

$$h_{\min} = \frac{1}{21} \times 480 \text{ cm} = 22,85 \text{ cm}$$

$$h_{\min} = 22,85 \text{ cm digunakan } h_{\min} = 30 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 22,85 = 15,23 \text{ cm}$$

$$b = 15,23 \text{ cm digunakan } b = 20 \text{ cm}$$

maka digunakan balok anak dengan dimensi 20/30.

**Tabel 4.2** Rekapitulasi Dimensi Balok Anak

Kode Balok	Bentang Bersih (Lb)	h min	h pakai	b min	b pakai	Dimensi
Anak	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	
BA 1	3,6	17,14286	30	20	20	20/30
BA 2	4,8	22,85714	30	20	20	20/30

#### 4.1.5 Perencanaan Tebal Pelat

##### 4.1.5.1 Peraturan Perencanaan Pelat

Peraturan penentuan tebal pelat minimum satu arah dan dua arah menggunakan persyaratan pada SNI 03-2847-2013. Untuk memenuhi syarat lendutan, tebal pelat minimum satu arah harus sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5 tabel 9.5 (a).

##### 4.1.5.2 Data Perencanaan Tebal Pelat Lantai dan Atap

Pelat yang direncanakan berupa pelat lantai dengan 3 tipe pelat yang memiliki ukuran yaitu :

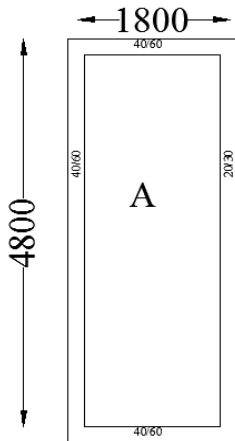
- Pelat tipe A : 180 x 480 cm
- Pelat tipe B : 180 x 360 cm
- Pelat tipe C : 120 x 360 cm

Tipe pelat tersebut direncanakan dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Mutu beton : 25 MPa
- Mutu baja : 400 MPa

Untuk perhitungan pelat satu arah adalah sebagai berikut:

- Pelat tipe S1 ukuran 180 cm x 480 cm



**Gambar 4.2** Tipe pelat A

$$L_n = 480 - \left( \frac{40}{2} + \frac{20}{2} \right) = 450 \text{ cm}$$

$$S_n = 180 - \left( \frac{40}{2} + \frac{40}{2} \right) = 140 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{450}{140} = 3,214 > 2 \quad (\text{pelat satu arah})$$

$$h_{min} = \frac{1}{20} \times Lb$$

$$h_{min} = \frac{1}{20} \times 480 = 9 \text{ cm}$$

**Tabel 4.3** Rekapitulasi Dimensi Pelat

Tipe	Ly	Lx	Ln	Sn	β	Keterangan	h min	h pakai
Pelat	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)		(cm)	(cm)
A	480	180	450	140	3,214286	Pelat 1 arah	9	15
B	360	180	330	140	2,357143	Pelat 1 arah	9	15
C	360	120	330	80	4,125	Pelat 1 arah	6	15

Tebal pelat yang direncanakan 15 cm telah memenuhi syarat. Perincian elemen pelat yang merupakan pelat pracetak adalah :

- Lantai 1-10

Tebal pelat pracetak = 9 cm

Tebal overtopping = 6 cm

#### 4.1.6 Perencanaan Dimensi Kolom

Perencanaan dimensi kolom yang ditinjau adalah kolom yang mengalami pembebanan terbesar. Pada tugas akhir ini, kolom yang hendak direncanakan memikul beban pada luasan pelat ukuran 180 x 480 cm dengan total 4 pelat per lantai.

##### Beban yang diterima lantai 1 - 10

- a. Beban mati lantai 1 – 10

beban mati yang diterima kolom adalah sebagai berikut:

Pelat :  $7,2 \times 19,2 \times 0,015 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 10 = 49766,4 \text{ kg}$

Balok induk

(BI1)	: 7,2x0,4x0,6x2400 kg/m <sup>3</sup> x10	= 41472 kg
(BI2)	: 4,8x0,4x0,6x2400 kg/m <sup>3</sup> x10	= 27648 kg
Balok anak	: 19,2x0,2x0,3x2400 kg/m <sup>3</sup> x10	= 27648 kg
Aspal (1cm)	: 7,2x19,2x0,01x1400 kg/m <sup>2</sup> x1	= 193536 kg
Tegel	: 7,2x19,2x24 kg/m <sup>2</sup> x10	= 33177,6 kg
Plafond	: 7,2x19,2x11 kg/m <sup>2</sup> x10	= 15206,4 kg
Penggantung	: 7,2x19,2x7 kg/m <sup>2</sup> x10	= 9676,8 kg
Plumbing	: 7,2x19,2x10 kg/m <sup>2</sup> x10	= 13824 kg
Spesi (2cm)	: 7,2x19,2x0,02x11 kg/m <sup>2</sup> x10	= 15206,4 kg
Dinding bata	: 7,2x19,2x250 kg/m <sup>3</sup> x10	= 345600 kg
Sanitasi	: 7,2x19,2x20 kg/m <sup>2</sup> x10	= <u>27648 kg +</u>
Berat Total (DL)		= 800409,6 kg

b. Beban hidup

Beban atap	: 7,2x19,2x100 kg/m <sup>2</sup> x1	= 13824 kg
Beban lantai	: 7,2x19,2x250 kg/m <sup>2</sup> x12	= <u>345600 kg +</u>
Berat Total (LL)		= 359424 kg

Koefisien Reduksi untuk beban hidup untuk Gedung Sekolah(PPIUG tabel 3.3) = 0,9. Jadi, total beban untuk beban hidup :  $L_L = 0,9 \times W_{Ltotal}$

$$L_L = 0,9 \times 359424 \text{ kg} \\ = 323481,6 \text{ kg}$$

$$\text{Jadi berat total} = 1,2 D_L + 1,6 L_L \\ = 1,2 (800409,6) + 1,6 (323481,6) \\ = 1.478.062,08 \text{ kg}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.2 aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur untuk komponen struktur dengan tulangan sengkang biasa, maka faktor reduksi ( $\phi=0,65$ ).

$$\text{Mutu beton} = 30 \text{ Mpa} = 30 \times 10 = 300 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Rencana awal} \rightarrow A = \frac{W}{\phi f'c} = \frac{1478062}{0,65 \times 300} = 7579,805 \text{ cm}^2$$

$$\text{Misalkan } b=h, \text{ maka } b^2 = 7579,805 \text{ cm}^2$$

$$b = 87,06 \text{ cm} = 90 \text{ cm}$$

agar lebih efisien maka dimensi kolom :

- Lantai 1 – 4 = 90 cm
- Lantai 5 – 7 = 80 cm

- Lantai 8 – 10 = 70 cm

## **4.2 Perencanaan Struktur Sekunder**

### **4.2.1 Perencanaan Pelat**

Desain tebal pelat direncanakan menggunakan ketebalan 14 cm dengan perincian tebal pelat pracetak 9 cm dan pelat cor setempat 6 cm. Peraturan yang digunakan untuk penentuan besar beban yang bekerja pada struktur pelat adalah Tata Cara Perhitungan Pembebanan Untuk Bangunan Rumah dan Gedung (SNI 03-1727-2012). Desain pelat direncanakan pada beberapa keadaan, yaitu :

1. Sebelum komposit, keadaan ini terjadi pada saat awal pengecoran topping yaitu komponen pracetak dan komponen topping belum menyatu dalam memikul beban. Perletakan pelat dapat dianggap sebagai perletakan bebas.
2. Sesudah komposit, keadaan ini terjadi apabila topping dan elemen pracetak pelat telah bekerja bersama-sama dalam memikul beban. Perletakan pelat dianggap sebagai perletakan terjepit elastis.

Permodelan pelat utama perletakan baik pada saat sebelum komposit dan setelah komposit akan digunakan untuk perhitungan tulangan pelat. Pelat pada saat awal pemasangan atau saat sebelum komposit diasumsikan memiliki perletakan bebas dengan tulangan lapangan saja.

Sedangkan pada saat setelah komposit diasumsikan sebagai perletakan terjepit elastis. Penulangan akhir nantinya merupakan penggabungan pada dua keadaan diatas. Selain tulangan untuk menahan beban gravitasi perlu juga diperhitungkan tulangan angkat yang sesuai pada pemasangan pelat pracetak.

#### **4.2.1.1 Data Perencanaan**

Data perencanaan yang digunakan untuk perencanaan pelat sesuai dengan preliminary desain adalah:

- Tebal pelat = 15 cm

- Mutu beton ( $f'_c$ ) = 25 MPa
- Mutu baja ( $f_y$ ) = 400 MPa
- Diameter tulangan rencana = 13 mm

#### **Sebelum komposit**

- Beban mati (DL)
  - Berat sendiri =  $0,09 \times 2400 = 216 \text{ kg/m}^2$
  - Beban hidup (LL)
  - Beban kerja =  $200 \text{ kg/m}^2$

#### **Setelah komposit**

- Beban mati (DL)
  - Berat sendiri =  $0,15 \times 2400 = 360 \text{ kg/m}^2$
  - Plafon+penggantung =  $11 + 7 \text{ kg/m}^2 = 18 \text{ kg/m}^2$
  - Ubin ( $t = 2 \text{ cm}$ ) =  $0,02 \times 2400 = 48 \text{ kg/m}^2$
  - Spesi ( $t = 2 \text{ cm}$ ) =  $0,02 \times 2100 = 42 \text{ kg/m}^2$
  - Ducting AC+pipa =  $10 + 5 \text{ kg/m}^2 = \underline{15 \text{ kg/m}^2} +$   
DL =  $459 \text{ kg/m}^2$
- Beban hidup (LL)
  - Beban hidup pada lantai LL = 250 kg

#### **Setelah komposit**

- Beban mati (DL)
  - Berat sendiri =  $0,15 \times 2400 = 360 \text{ kg/m}^2$
  - Plafon+penggantung =  $11 + 7 \text{ kg/m}^2 = 18 \text{ kg/m}^2$
  - Ubin ( $t = 2 \text{ cm}$ ) =  $0,02 \times 2400 = 48 \text{ kg/m}^2$
  - Spesi ( $t = 2 \text{ cm}$ ) =  $0,02 \times 2100 = 42 \text{ kg/m}^2$
  - Ducting AC + pipa =  $10 + 5 \text{ kg/m}^2 = \underline{15 \text{ kg/m}^2} +$   
DL =  $483 \text{ kg/m}^2$
- Beban hidup (LL)
  - Beban hidup pada lantai LL = 250 kg

### **4.2.1.2 Pembebanan Pelat Atap**

#### **Sebelum komposit**

- Beban mati (DL)



- |                    |                      |                         |
|--------------------|----------------------|-------------------------|
| Berat sendiri      | $= 0,09 \times 2400$ | $= 216 \text{ kg/m}^2$  |
| • Beban hidup (LL) |                      |                         |
| Beban kerja        |                      | $= 100 \text{ kg/m}^2$  |
| Beban air hujan    |                      | $= 20 \text{ kg/m}^2 +$ |
|                    | LL                   | $= 120 \text{ kg/m}^2$  |

### **Setelah komposit**

- |                       |                           |                         |
|-----------------------|---------------------------|-------------------------|
| • Beban mati (DL)     |                           |                         |
| Berat sendiri         | $= 0,15 \times 2400$      | $= 360 \text{ kg/m}^2$  |
| Plafon+penggantung    | $= 11 + 7 \text{ kg/m}^2$ | $= 18 \text{ kg/m}^2$   |
| Aspal (t = 1 cm)      | $= 0,01 \times 1400$      | $= 14 \text{ kg/m}^2$   |
| Spesi (t = 2 cm)      | $= 0,02 \times 2100$      | $= 42 \text{ kg/m}^2$   |
| Ducting AC+pipa       | $= 10 \text{ kg/m}^2$     | $= 15 \text{ kg/m}^2 +$ |
|                       | DL                        | $= 449 \text{ kg/m}^2$  |
| • Beban hidup (LL)    |                           |                         |
| Beban hidup pada atap |                           | $= 100 \text{ kg/m}^2$  |
| Beban air hujan       |                           | $= 20 \text{ kg/m}^2 +$ |
|                       | LL                        | $= 120 \text{ kg/m}^2$  |

Sesuai SNI 03 – 1727 – 2012, beban hidup dapat direduksi 20% untuk komponen yang menumpu 2 lantai atau lebih.

$$\text{Beban hidup} = 0,8 \times 120 \text{ kg/m}^2 = 96 \text{ kg/m}^2$$

#### **4.2.1.3 Kombinasi pembebanan pelat**

Kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 9.2.1 didapatkan

$$Q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

Berikut adalah perhitungan kombinasi pembebanan **pelat lantai**:

- Keadaan 1 sebelum komposit, ada beban kerja

$$Q_u = 1,2 \times 216 + 1,6 \times 250 = 659,2 \text{ kg/m}^2$$

- Keadaan 2 sebelum komposit, topping telah terpasang

$$Q_u = 1,2 \times 360 + 1,6 \times 0 = 432 \text{ kg/m}^2$$

- Keadaan 3, setelah komposit

$$Q_u = 1,2 \times 459 + 1,6 \times 250 = 950,8 \text{ kg/m}^2$$

Serta perhitungan kombinasi pembebanan **pelat atap** :

- Keadaan 1, ada beban kerja

$$Q_u = 1,2 \times 216 + 1,6 \times 120 = 451,2 \text{ kg/m}^2$$

- Keadaan 2, topping telah terpasang

$$Q_u = 1,2 \times 360 + 1,6 \times 0 = 432 \text{ kg/m}^2$$

- Keadaan 3, setelah komposit

$$Q_u = 1,2 \times 449 + 1,6 \times 96 = 692,4 \text{ kg/m}^2$$

#### 4.2.1.4 Perhitungan Tulangan Pelat

Perhitungan pelat untuk semua lantai digunakan pelat A persegi panjang  $4,8 \times 1,8$  m, adalah pelat terbesar dan dianggap cukup mewakili perhitungan pelat-pelat persegi panjang lainnya.

Berikut ini merupakan langkah-langkah serta bebarappa contoh perhitungan yang digunakan dalam menentukan tulangan lentur pelat, antara lain :

- Menentukan data perencanaan untuk penulangan pelat :

Dimensi pelat	: $480 \text{ cm} \times 180 \text{ cm}$
Tebal pelat	: 90 mm (sebelum komposit)
Tebal topping	: 60 mm
Tebal decking	: 20 mm
Diameter tulangan rencana	: 13 mm
Mutu tulangan baja ( $f_y$ )	: 400 Mpa
Mutu beton ( $f'_c$ )	: 25 Mpa

- Kondisi sebelum komposit

$$dx = 90 - 20 - \frac{13}{2} = 63,5$$

$$dy = 90 - 20 - 10 - \frac{13}{2} = 53,5$$

- Kondisi sesudah komposit

$$dx = 150 - 20 - \frac{13}{2} = 123,5$$

$$dy = 150 - 20 - 10 - \frac{13}{2} = 113,5$$

Untuk mutu beton  $f_c' = 25$  MPa berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.7.3 harga dari  $\beta_1$  adalah sebagai berikut :

$$\beta_1 = 0,85 - (8/1000) \times (f_c' - 30) \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008 \times (25 - 30) = 0,89$$

Menentukan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang disyaratkan sebagai berikut :

$$\beta_1 = 0,89 \quad \text{SNI 03 - 2847 - 2013 pasal 10.2.7.3}$$

$$\rho_b = \frac{0,85\beta_1 f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,89 \times 25}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0283$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0283 = 0,0212$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{min} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{25}}{400} = 0,00312$$

$\rho$  min dipilih yang terbesar yaitu 0,0035

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,823$$

$$L_y = 480 - \left( \frac{40}{2} + \frac{20}{2} \right) = 450 \text{ cm}$$

$$L_x = 180 - \left( \frac{40}{2} + \frac{40}{2} \right) = 140 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{L_y}{L_x} = \frac{450}{140} = 3,214 > 2 \quad (\text{pelat satu arah})$$

Penulangan pokok pelat pada tumpuan sama dengan pada lapangan, tetapi letak tulangan tariknya berbeda. Pada daerah tumpuan tulangan tarik berada di atas sedangkan pada daerah lapangan tulangan tariknya berada di bawah. Tulangan lapangan dan tulangan tumpuan baik tulangan pokok maupun tulangan bagi direncanakan menggunakan tulangan  $\phi$  13 mm ( $A_s = 132,665 \text{ mm}^2$ ).

#### 4.2.1.5 Perhitungan Penulangan Pelat Sebelum Komposit

Menentukan momen ( $M_u$ ) yang bekerja pada pelat dengan menggunakan koefisien PBI 1971 tabel 13.3.1 didapat persamaan momen untuk asumsi perletakan terletak beban pada keempat tepinya dan terjepit dikedua sisinya:

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{450}{140} = 3,214 \geq 2 \text{ (pelat satu arah)}$$

- $M_{ulx}^{(+)} = M_{utx}^{(-)} = 0,001 Q_u L_x^2 \times x \rightarrow x = 83$

Pada pelat satu arah penulangan lentur hanya pada arah X (arah melintang pelat) sedangkan pada arah Y (arah memanjang pelat) merupakan tulangan pembagi.

- **Penulangan arah X (tulangan utama)**

$$\begin{aligned} M_{ulx}^{(+)} = M_{utx}^{(-)} &= 0,001 \times 659,2 \times 1,8^2 \times 83 \\ &= 177,272 \text{ kgm} = 1772720,64 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d x^2} = \frac{1772720,64}{0,8 \times 1000 \times 63,5^2} = 0,55$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,823} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,823 \times 0,55}{400}} \right) = 0,0017 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0017 < \rho_{\text{min}} = 0,0035$  maka dipakai  $\rho_{\text{perlu}} = \rho_{\text{min}} = 0,0035$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d x$$

$$= 0,0035 \times 1000 \times 63,5 = 222,25 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan minimum, } S &\leq 3 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 3 \times 90 \\ &\leq 270 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s \text{ D13}}} \\ &= \frac{222,25}{132,665} = 1,67 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = 1000/2 = 500 \text{ mm} > S_{\min} = 270 \text{ mm}$$

Maka digunakan tulangan lentur D13-500 mm.

#### • Penulangan arah Y

Pada penulangan arah Y dipasang tulangan pembagi untuk menahan susut dan suhu dengan  $\rho_{\min} = 0,002$  (SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.1)

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= 0,002 \times b \times d_y \\ &= 0,002 \times 1000 \times 53,5 = 107 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan minimum, } S &\leq 5 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 5 \times 90 \\ &\leq 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s \text{ D13}}} \\ &= \frac{107}{132,665} = 0,80 \approx 1 \text{ buah} \end{aligned}$$

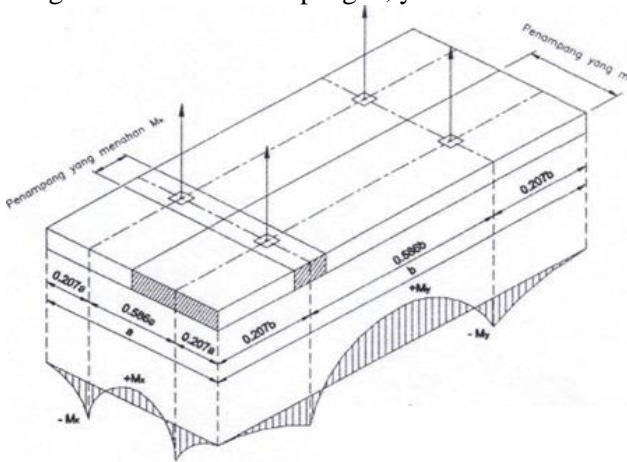
$$\text{Jarak tulangan, } S = 1000/2 = 500 \text{ mm} > S_{\max} = 450 \text{ mm}$$

Maka digunakan tulangan susut D10-450 mm.

#### 4.2.1.6 Penulangan Sebelum Komposit Akibat Pengangkatan

Dalam pemasangan pelat pracetak, perlu diingat bahwa pelat akan mengalami pengangkatan elemen (erection). Besarnya momen dan pengaturan jarak tulangan angkat sesuai dengan buku

“Precast and Prestressed Concrete” seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.3 dibawah ini dimana momen daerah tumpuan sama dengan momen daerah lapangan, yaitu:



**Gambar 4. 3** Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat)

(Sumber: PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition Precast and Prestressed Concrete)

$$M_x = 0,0107 \times w \times a^2 \times b$$

$$M_y = 0,0107 \times w \times a \times b^2$$

Pada pelat tipe A:  $180 \times 480$  cm ( $L_x = 140$  cm,  $L_y = 450$  cm)

Ditentukan  $a = 1,4$  m dan  $b = 4,5$  m

Dengan  $w = (0,09 \times 2400) = 216$  kg/m

Maka:

$$M_x = 0,0107 \times 216 \times 1,4^2 \times 4,5 = 20,384 \text{ kgm}$$

$$M_y = 0,0107 \times 216 \times 1,4 \times 4,5^2 = 65,552 \text{ kgm}$$

- **Penulangan arah X (tulangan utama)**

$$M_u = 20,384 \text{ kgm} = 203840 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times 1000 \times d x^2} = \frac{203840}{0,8 \times 1000 \times 63,5^2} = 0,063$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{18,823} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,823 \times 0,063}{400}} \right) = 0,0001$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0001 < \rho_{\text{min}} = 0,0035$  dipakai  $\rho_{\text{min}}$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0035 \times 1000 \times 63,5 = 222,25 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan minimum, } S &\leq 3 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 3 \times 90 \\ &\leq 270 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_s \text{ D13}} \\ &= \frac{222,25}{132,665} = 1,67 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = 1000/2 = 500 \text{ mm} > S_{\text{maks}} = 270 \text{ mm}$$

Maka digunakan tulangan lentur D13-500 mm.

- **Penulangan arah Y (tulangan susut)**

$$Mu = 65,552 \text{ kgm} = 655520 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{0,8 \times 1000 \times d y^2} = \frac{655520}{0,8 \times 1000 \times 53,5^2} = 0,286$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{18,823} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,823 \times 0,286}{400}} \right) = 0,0007$$

$\rho_{\text{min}} = 0,0007 < \rho_{\text{perlu}} = 0,0035$  sehingga  $\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\text{perlu}} = 0,0035$  didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d_y \\ = 0,0035 \times 1000 \times 53,5 = 187,25 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan minimum, } S &\leq 5 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 5 \times 90 \\ &\leq 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S \text{ D13}}} \\ &= \frac{187,25}{132,665} = 1,41 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = 1000/2 = 500 \text{ mm} < S_{\text{maks}} \dots \text{ (OK)}$$

Maka digunakan tulangan susut D13-450 mm.

#### 4.2.1.7 Penulangan Pelat Sesudah Komposit

$$Q_u = 692,4 \text{ kg/m}^2$$

$$d_x = 114,5 \text{ mm}$$

$$d_y = 104,5 \text{ mm}$$

Menentukan momen ( $M_u$ ) yang bekerja pada pelat dengan menggunakan koefisien PBI 1971 tabel 13.3.1 didapat persamaan momen untuk asumsi perletakan terletak beban pada keempat tepinya dan terjepit dikedua sisinya:

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{450}{140} = 3,214 \geq 2 \text{ (pelat satu arah)}$$

$$\bullet \text{ } M_{ux}^{(+)} = M_{ux}^{(-)} = 0,001 Q_u L_x^2 \text{ } x \rightarrow x = 83$$

$$\bullet \text{ } M_{uy}^{(+)} = M_{uy}^{(-)} = 0,001 Q_u L_y^2 \text{ } y \rightarrow y = 57$$

Pada pelat satu arah penulangan lentur hanya pada arah X (arah melintang pelat) sedangkan pada arah Y (arah memanjang pelat) merupakan tulangan pembagi.

- **Penulangan arah X (tulangan utama)**

$$\begin{aligned} M_{ux}^{(+)} = M_{ux}^{(-)} &= 0,001 \times 692,4 \times 1,8^2 \times 83 \\ &= 186,2 \text{ kgm} = 1862000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d_x^2} = \frac{1862000}{0,8 \times 1000 \times 114,5^2} = 0,177$$



$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{18,823} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,823 \times 0,177}{400}} \right) = 0,0004$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0004 < \rho_{\text{min}} = 0,0035$  maka dipakai  $\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\text{min}} = 0,0035$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0035 \times 1000 \times 114,5 = 400,75 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan minimum, } S &\leq 3 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 3 \times 150 \\ &\leq 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_s \text{ D13}} \\ &= \frac{450}{132,665} = 3,39 \approx 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = 1000/4 = 250 \text{ mm} < S_{\text{maks}} \dots \text{ (OK)}$$

Maka digunakan tulangan lentur D13-250 mm.

#### • Penulangan arah Y

Pada penulangan arah Y dipasang tulangan pembagi untuk menahan susut dan suhu dengan  $\rho_{\text{min}} = 0,002$  (SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.1)

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= 0,002 \times b \times d \\ &= 0,002 \times 1000 \times 104,5 = 209 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan minimum, } S &\leq 5 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 5 \times 150 \\ &\leq 750 \text{ mm} \\ S &\leq 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_s \text{ D10}}$$

$$= \frac{209}{132,665} = 1,57 \approx 2 \text{ buah}$$

Jarak tulangan,  $S = 1000/2 = 500 \text{ mm} < S_{\text{maks}} \dots (\text{OK})$

Maka digunakan tulangan susut D13-500 mm.

#### 4.2.1.8 Penulangan Stud Pelat Lantai

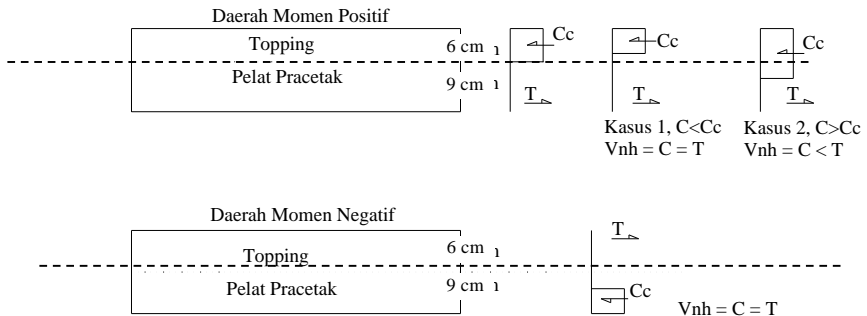
Pada perencanaan yang memakai elemen pracetak dan topping cor ditempat maka transfer gaya regangan horisontal yang terjadi harus dapat dipastikan mampu dipikul oleh seluruh penampang, baik oleh elemen pracetak maupun oleh topping cor ditempat. Untuk mengikat elemen pracetak dan elemen cor ditempat maka dipakai tulangan stud.

Stud ini berfungsi sebagai sengkang pengikat antar elemen sehingga mampu mentransfer gaya-gaya dalam yang bekerja pada penampang tekan menjadi gaya geser horisontal yang bekerja pada permukaan pertemuan antara kedua elemen komposit dalam memikul beban.

Dalam SNI disebutkan bahwa gaya geser horisontal bisa diperiksa dengan jalan menghitung perubahan aktual dari gaya tekan dan gaya tarik didalam sembarang segmen dan dengan menentukan bahwa gaya tersebut dipindahkan sebagai gaya geser horisontal elemen – elemen pendukung.

Gaya geser horisontal yang terjadi pada penampang komposit ada dua macam kasus :

- Kasus 1 : gaya tekan elemen komposit kurang dari gaya tekan elemen cor setempat
- Kasus 2 : gaya tekan elemen komposit lebih dari gaya tekan elemen cor setempat



**Gambar 4. 4**Diagram gaya geser horizontal penampang komposit

Perhitungan stud pelat 180 cm × 480 cm

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 f_c' A_{\text{topping}} \\ &= 0,85 \times 25 \times 60 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm} \\ &= 1275000 \text{ N} = 1275 \text{ KN} \end{aligned}$$

Dipakai stud Ø8 mm

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 = 50,265 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} V_{nh} &= C = T \\ &= A_s \times f_y \\ &= 50,265 \times 400 = 20106 \text{ N} = 20,106 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,55A_c &= 0,55 \times b_v \times d \\ &= 0,55 \times 1000 \times 114,5 \\ &= 62975 \text{ N} = 62,975 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$V_{nh} < 0,55b_v.d \text{ .....(OK)}$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 17.5.3.1, Bila dipasang sengkang pengikat minimum sesuai dengan 17.6 dan bidang kontakannya bersih dan bebas dari serpihan tapi tidak dikasarkan, maka kuat geser  $V_{nh}$  tidak boleh diambil lebih dari  $0,55b_v.d$  dalam Newton. Pasal 17.6.1 berbunyi bahwa bilapengikat sengkang dipasang untuk menyalurkan geser horisontal, luas pengikat sengkang tidak boleh kurang luas daripada luas yang diperlukan oleh 11.4.6.3, dan spasi pengikat tidak boleh melebihi

empat kali dimensi terkecil elemen yang ditumpu, atau melebihi 600 mm.

$$S_{maks} = 4 \times 60 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

$$S \leq 600 \text{ mm}$$

maka,  $S_{pakai} = 200 \text{ mm}$

SNI 03-2847-2013 Pasal 11.4.6.3:

$$A_{v_{min}} = 0,062 \sqrt{f'_c} \frac{bw \times s}{f_y}$$

$$= 0,062 \sqrt{25} \frac{1000 \times 200}{400} = 155 \text{ mm}^2$$

$$A_v > (0,35 b_w \cdot S) / f_y = (0,35 \times 1000 \times 150) / 400 = 131,25 \text{ mm}^2$$

maka,  $A_{v_{min}} = 155 \text{ mm}^2$

Dipakai tulangan Ø8 dengan  $A_v = 50,265 \text{ mm}^2$

Maka dipasang stud (shear connector) Ø8-200 mm ( $A_v = 251,325 \text{ mm}^2$ ).

#### 4.2.1.9 Kontrol Lendutan

Tebal pelat yang dipakai lebih besar dari tebal minimum pelat seperti yang disyaratkan SNI 03-2847-2013 Pasal 9.5.3, maka tidak perlu dilakukan control terhadap lendutan.

#### 4.2.1.10 Panjang Penyaluran Tulangan Pelat

Panjang penyaluran harus disediakan cukup untuk tulangan pelat sebelum dan sesudah komposit. Panjang penyaluran didasarkan pada SNI 03-2847-2013 :

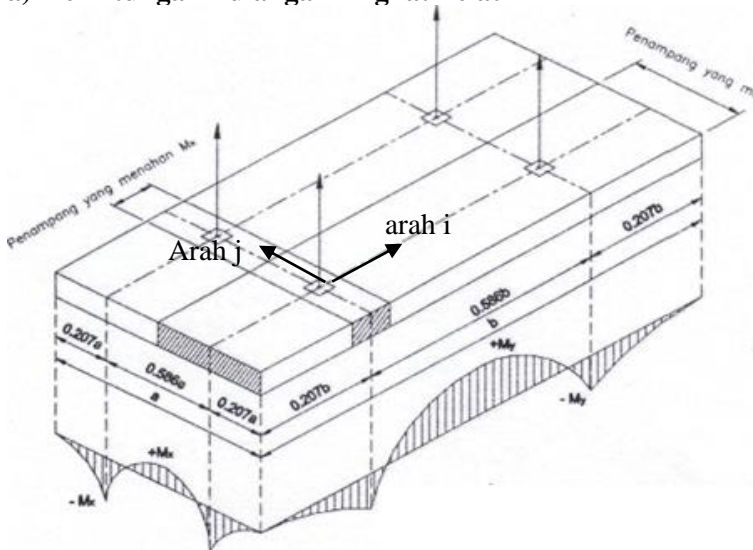
- $l_{dh} \geq 8 d_b = 8 \times 13 = 104 \text{ mm}$   
(SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1)
- $l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$   
(SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1)
- $l_{dh} = (0,24 f_y \sqrt{f'_c}) / d_b$  (SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.2)  
 $= (0,24 \times 400 \times \sqrt{25}) / 13 = 36,923 \text{ mm}$

Maka dipakai panjang penyaluran terbesar yaitu 150 mm.

#### 4.2.1.11 Perhitungan Tulangan Angkat

Dalam pemasangan pelat pracetak, pelat akan mengalami pengangkatan sehingga perlu direncanakan tulangan angkat untuk pelat. Contoh perhitungan akan diambil pelat tipe A dengan dimensi 180 cm x 480 cm dengan empat titik pengangkatan (*four point pick up*).

##### a) Perhitungan Tulangan Angkat Pelat

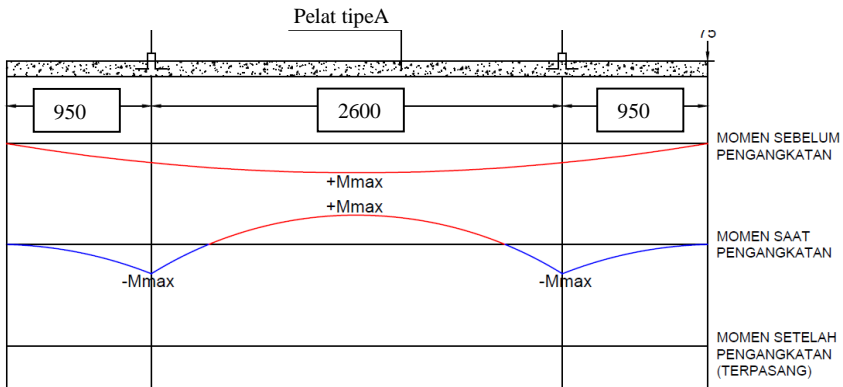


**Gambar 4. 5**Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat)

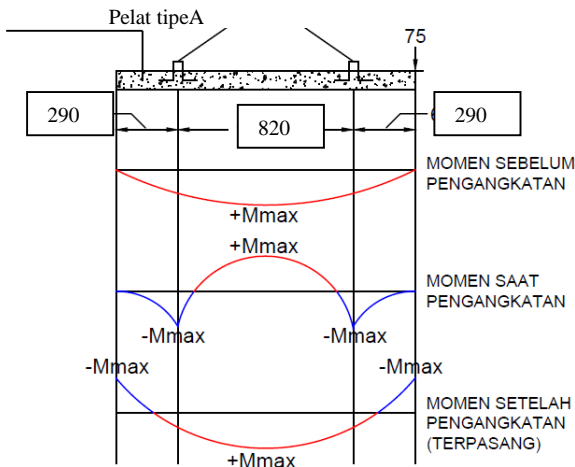
(Sumber: PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition Precast and Prestressed Concrete)

- Gaya akibat pengangkatan akan ditransformasikan kedua arah horizontal, yaitu arah i dan j.
- Tinggi pengangkatan dari muka pelat diambil 75 cm
- Pada perhitungan beban ultimate ditambahkan koefisien kejut ( $k = 1,2$ ) pada saat pengangkatan.
- $DL = 0,09 \times 1,8 \times 4,8 \times 2400 = 1866,24 \text{ kg}$

### b) Pengangkatan Pelat Tipe A



**Gambar 4. 6** Momen pengangkatan pelat arah i



**Gambar 4. 7** Momen pengangkatan pelat arah j

Dalam hal ini dianggap ada 2 orang pekerja yang ikut serta diatas pelat untuk mengatur dan mengarahkan posisi pelat, maka  $LL = 200 \text{ kg}$ .

$$\text{Beban ultimate} = (1,2 \times 1,2 \times 1866,24) + (1,2 \times 1,6 \times 200) = 3071,385 \text{ kg}$$

$$\text{Gaya angkat (Tu) setiap tulangan} = \frac{3071,385}{4} = 767,846 \text{ kg}$$

Sesuai PBBBI pasal 2.2.2, tegangan tarik ijin baja

$$\sigma_{\text{tarikijin}} = \frac{fy}{1,5} = \frac{4000}{1,5} = 2666,67 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Maka diameter tulangan angkat} = \sqrt{\frac{4 \times 767,846}{\pi \times 2666,67}} = 0,367 \text{ cm}$$

Maka dipasang tulangan angkat D10 mm

### c) Kontrol Tulangan Angkat

$$f_{\text{pelat}} < f_{\text{cr}}$$

fcr untuk beton 28 hari adalah

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{fc'} = 0,7 \times \sqrt{25} = 3,5 \text{ MPa}$$

$$y_c = 0,5 \times 0,09 = 0,045 \text{ m}$$

Berdasarkan *PCI Design Handbook, Precast and Prestress Concrete, Fourth Edition, 1992* momen maksimum diperhitungkan

Berdasarkan gambar diatas:

- Arah i sama dengan arah y
- Arah j sama dengan arah x

$$w = (t_{\text{pelat}} \times 2400 \text{ kg/m}^3) + \left( \frac{W_{\text{pekerja}}}{A_{\text{pelat}}} \right)$$

$$w = (0,09 \times 2400) + \left( \frac{200}{1,8 \times 4,8} \right) = 239,148 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} + M_x &= - M_x = 0,0107 \times w \times a^2 \times b \\ &= 0,0107 \times 239,148 \times 1,8^2 \times 4,8 \\ &= 39,795 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} + M_y &= - M_y = 0,0107 \times w \times a \times b^2 \\ &= 0,0107 \times 239,148 \times 1,8 \times 4,8^2 \\ &= 106,122 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$P = \frac{3071,385}{4} = 767,846 \text{ kg}$$

$$M_y = \left( \frac{P \times y_c}{tg \ 45} \right) = \left( \frac{767,846 \times 0,045}{tg \ 45} \right) = 34,55 \text{ kgm}$$

$$M_{tot} = 106,122 + 34,55 = 140,672 \text{ kgm}$$

- $M_y$  ditahan oleh penampang selebar  $a/2 = 180/2 = 90 \text{ cm}$

$$Z = \frac{1}{6} \times 90 \times 9^2 = 1215 \text{ cm}^3$$

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f_c'} = 0,7 \times \sqrt{25} = 3,5 \text{ MPa}$$

$$f_t = f_b = \frac{M_{tot}}{Z} = \frac{140,672 \times 10^4}{1215 \times 10^3}$$

$$= 1,158 \text{ Mpa} < f_r \dots\dots\dots \text{Ok}$$

- $M_x$  ditahan oleh penampang selebar  $15t = 135 \text{ cm}$  atau  $b/2 = 240 \text{ cm}$

Ambil terkecil = 135 cm

$$M_x = \left( \frac{P \times y_c}{tg \ 45} \right) = \left( \frac{767,846 \times 0,045}{tg \ 45} \right) = 34,55 \text{ kgm}$$

$$M_{tot} = 39,795 + 34,55 = 74,345 \text{ kgm}$$

$$Z = \frac{1}{6} \times 135 \times 9^2 = 1822,5 \text{ cm}^3$$

$$f_t = f_b = \frac{M_{tot}}{Z} = \frac{74,345 \times 10^4}{1822,5 \times 10^3}$$

$$= 0,41 \text{ Mpa} < f_r \dots\dots\dots \text{Ok}$$

#### 4.2.1.12 Penulangan Pelat yang Terpasang

Penulangan pelat yang terpakai atau yang akan dipasang adalah dipilih penulangan yang paling banyak dari ketiga keadaan diatas (keadaan sebelum komposit, akibat pengangkatan, sesudah komposit) yaitu sebagai berikut:



**Tabel 4. 4**Tulangan Terpasang pada Pelat

Tipe Pelat	Ukuran Pelat		Tulangan Terpasang		Stud	Panjang Penyaluran (mm)	Tulangan Angkat
	panjang (m)	lebar (m)	Tulangan Utama	Tulangan Pembagi			
A	1,8	4,8	D13-250	D13-450	Ø8-200	150	D10
B	1,8	3,6	D13-250	D13-450	Ø8-200	150	D10
C	1,2	3,6	D13-250	D13-450	Ø8-200	150	D10

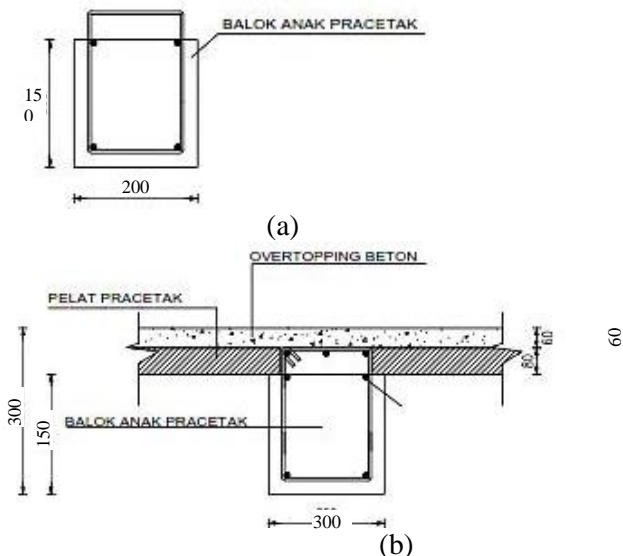
## 4.2.2 Perencanaan Balok Anak Pracetak

Pada perencanaan balok anak, beban yang diterima oleh balok anak berupa beban persegi biasa. Itu dikarenakan pelat pracetak hanya menumpu dua titik tumpu, titik tumpu pertama ada di balok induk serta titik tumpu yang kedua berada di balok anak.

### 4.2.2.1 Data Perencanaan Balok Anak Pracetak

- Dimensi balok anak :  $20 \times 30$  cm
- Mutu beton ( $f_c'$ ) : 25 MPa
- Mutu baja ( $f_y$ ) : 400 MPa
- Tulangan lentur : D19
- Tulangan sengkang :  $\emptyset 10$

Dalam perhitungan bab ini, akan dilakukan perhitungan sebelum komposit dan perhitungan sesudah komposit. Berdasarkan kondisi tersebut maka terdapat dua dimensi balok anak yaitu dimensi sebelum komposit dan dimensi sesudah komposit.

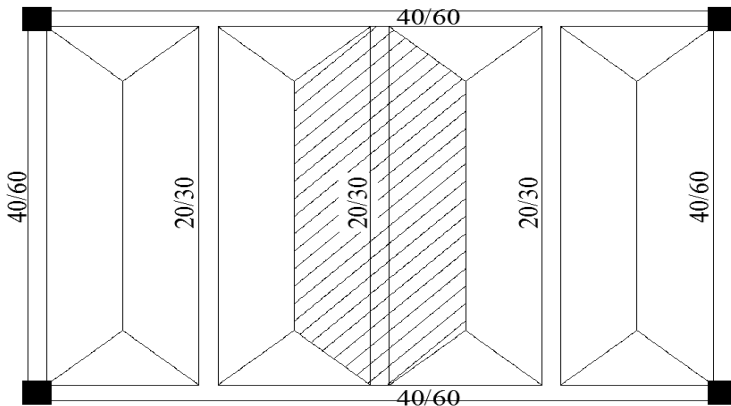


**Gambar 4. 8**(a) Dimensi balok anak sebelum komposit, (b) Dimensi balok anak saat pengecoran dan balok anak saat komposit

#### 4.2.2.2 Pembebanan Balok Anak Pracetak

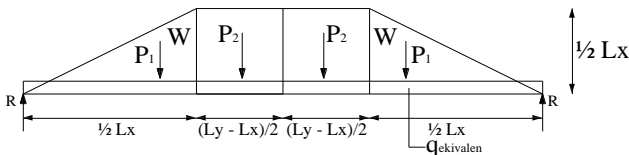
Beban yang bekerja pada balok anak adalah berat sendiri dari balok anak tersebut dan semua beban merata yang terjadi pada pelat (termasuk berat sendiri pelat dan beban hidup merata yang berada diatas pelat). Distribusi beban pada balok pendukung sedemikian rupa sehingga dapat dianggap sebagai beban trapesium pada lajur yang panjang.

Beban-beban berbentuk trapesium tersebut kemudian diubah menjadi beban merata ekuivalen untuk mendapatkan momen maksimumnya. Untuk mempermudah pemahaman pembebanan pada balok anak berikut disajikan gambar distribusi beban yang bekerja pada balok anak.



**Gambar 4. 9**Distribusi Beban pada Balok Anak 20/30

Beban ekuivalen trapesium



$$q_{ek} = \frac{1}{2} \times q \times Lx \left( 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right)$$

#### 4.2.2.3 Perhitungan Pembebanan Balok Anak

##### ➤ Sebelum Komposit

$$Lx = 180 - (40/2 + 40/2) = 140 \text{ cm}$$

$$Ly = 480 - (20/2 + 20/2) = 440 \text{ cm}$$

- Beban mati ( $Q_{DL}$ )

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri balok anak} &= 0,2 \times 0,15 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 72 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q \text{ pelat sebelum komposit} &= 0,09 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 216 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{sebelum komposit}} &= \left( \frac{1}{2} \times q \times L_x \right) \times 2 \\ &= \left( \frac{1}{2} \times 216 \times 1,4 \right) \times 2 \\ &= 302,4 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- Kombinasi beban

$Q_u$  sebelum komposit

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 \times (72 + 302,4) + 1,6 \times 0 \\ &= 449,28 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

##### ➤ Sesudah Komposit

- Beban mati ( $Q_{DL}$ )

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri balok anak} &= 0,2 \times 0,3 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 144 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q \text{ pelat sesudah komposit} &= 0,15 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 360 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Q_{\text{sesudah komposit}} &= \left( \frac{1}{2} \times q \times Lx \left( 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right) \right) \times 2 \\
&= \left( \frac{1}{2} \times 360 \times 1,4 \left( 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{1,4}{4,4} \right)^2 \right) \right) \times 2 \\
&= 486,991 \text{ kg/m}
\end{aligned}$$

- Beban hidup ( $Q_{LL}$ )

Beban pekerja = 200 kg/m<sup>2</sup>

$$\begin{aligned}
Q_{\text{ekivalen}} &= \left( \frac{1}{2} \times q \times Lx \left( 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right) \right) \times 2 \\
&= \left( \frac{1}{2} \times 200 \times 1,4 \left( 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{1,4}{4,4} \right)^2 \right) \right) \times 2 \\
&= 270,551 \text{ kg/m}
\end{aligned}$$

- Kombinasi beban

$Q_u$  sesudah komposit

$Q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$

$= 1,2 \times (144 + 486,991) + 1,6 \times 270,551$

$= 1190,072 \text{ kg/m}$

#### 4.2.2.4 Perhitungan Momen dan Geser

Perhitungan momen dan gaya lintang sesuai dengan ikhtisar momen – momen dan gaya melintang dari SNI 03-2847-2013 pasal 8.3.3.

➤ Momen sebelum komposit

$$\begin{aligned}
M_{\text{lapangan}} &= \left( \frac{1}{8} \times q \times L^2 \right) \\
&= \left( \frac{1}{8} \times 483,991 \times 4,8^2 \right) \\
&= 1293,926 \text{ kgm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{1}{2} \times (q \times L) \\
 &= \frac{1}{2} \times (483,991 \times 4,8) \\
 &= 1078,272 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

➤ Momen sesudah komposit

$$\begin{aligned}
 M_{\text{tump}} &= \left( \frac{1}{16} \times q \times L^2 \right) \\
 &= \left( \frac{1}{16} \times 1190,072 \times 4,4^2 \right) \\
 &= 1713,703 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{lapangan}} &= \left( \frac{1}{10} \times q \times L^2 \right) \\
 &= \left( \frac{1}{10} \times 1190,072 \times 4,4^2 \right) \\
 &= 2741,925 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{1}{2} \times (q \times L) \\
 &= \frac{1}{2} \times (1190,072 \times 4,4) \\
 &= 2856,172 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

#### 4.2.2.5 Perhitungan Tulangan Lentur Balok Anak

➤ Perhitungan tulangan sebelum komposit

Dimensi balok anak	= 20/30
Tebal selimut beton	= 40 mm
Diameter tulangan utama	= 19 mm
Diameter tulangan sengkang	= 10 mm
Mutu beton ( $f_c'$ )	= 25 MPa
Mutu baja ( $f_y$ )	= 400 Mpa
$d = 300 - 40 - 10 - \frac{1}{2} (19)$	= 90,5 mm

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(25-28)}{7} \geq 0,65 = 0,871$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,871 \times 25}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0277 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,0277 = 0,0208$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{25}}{400} = 0,003125 \end{aligned}$$

$\rho_{\min}$  dipilih yang paling besar yaitu 0,0035

### **Tulangan lapangan**

$$M_{\text{lapangan}} = 1293,926 \text{ kgm} = 12939264 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{12939264}{0,8 \times 200 \times 90,5^2} = 9,87$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,823} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,823 \times 9,87}{400}} \right) = 0,039 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,039 > \rho_{\min} = 0,0035$  dipakai  $\rho_{\text{perlu}}$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{\text{Sperlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,039 \times 200 \times 90,5 = 705,917 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{sD19}} \\
 &= \frac{705,917}{283,385} = 2,49 \approx 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= \text{jumlah tulangan} \times A_{D19} \\
 &= 3 \times 283,385 \text{ mm}^2 \\
 &= 850,115 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} \dots\dots \text{ OK}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur 3D19

➤ **Perhitungan tulangan sesudah komposit**

$$\begin{aligned}
 \text{Dimensi balok anak} &= 20/30 \\
 \text{Tebal selimut beton} &= 40 \text{ mm} \\
 \text{Diameter tulangan utama} &= 19 \text{ mm} \\
 \text{Diameter tulangan sengkang} &= 10 \text{ mm} \\
 \text{Mutu beton } (f_c') &= 25 \text{ MPa} \\
 \text{Mutu baja } (f_y) &= 400 \text{ Mpa} \\
 d &= 300 - 40 - 10 - \frac{1}{2}(19) = 240,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(25-28)}{7} \geq 0,65 = 0,871$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 0,871 \times 25}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0277
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,0277 = 0,0208$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \\
 &= \frac{0,25 \times \sqrt{25}}{400} = 0,003125
 \end{aligned}$$



$\rho_{\min}$  dipilih yang paling besar yaitu 0,0035

### **Tulangan lapangan**

$$M_{\text{lapangan}} = 2741,925 \text{ kgm} = 27419250 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{27419250}{0,8 \times 200 \times 240,5^2} = 2,96$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,823} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,823 \times 2,96}{400}} \right) = 0,008 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,008 > \rho_{\min} = 0,0036$  dipakai  $\rho_{\text{perlu}}$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,008 \times 200 \times 240,5 = 385,332 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{SD19}} \\ &= \frac{385,332}{283,385} = 1,35 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= \text{jumlah tulangan} \times A_{D19} \\ &= 2 \times 283,385 \text{ mm}^2 \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} \dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur 2D19

### **Tulangan tumpuan**

$$M_{\text{lapangan}} = 1713,703 \text{ kgm} = 17137031 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{17137031}{0,8 \times 200 \times 240,5^2} = 1,85$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{18,823} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,823 \times 1,85}{400}} \right) = 0,0048$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0048 > \rho_{\text{min}} = 0,0035$  dipakai  $\rho_{\text{perlu}}$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0048 \times 200 \times 240,5 = 233,33 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{SD19}} \\ &= \frac{233,33}{283,385} = 0,823 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= \text{jumlah tulangan} \times A_{D29} \\ &= 2 \times 283,385 \text{ mm}^2 \\ &= 566,77 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} \dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur 2D19

#### 4.2.2.6 Perhitungan Tulangan Geser

##### ➤ Perhitungan tulangan sebelum komposit

$$V_u = 1078,272 \text{ kg} = 10782,72 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\ &= \frac{1}{6} \times \sqrt{25} \times 200 \times 87,5 \\ &= 15083,33 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times 15083,33 \\ &= 30062,5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$0,5\phi V_c = 0,5 \times 30062,5 = 5656,25 \text{ N}$$

Karena  $V_u > 0,5\phi V_c$  maka dibutuhkan tulangan geser minimum. Dipakai tulangan Ø10 mm dengan mutu baja BJTP-240 ( $f_y = 240$  MPa)

$$\begin{aligned} V_{s \min} &= \frac{V_u}{\phi} \\ &= \frac{10782,72}{0,75} \\ &= 14376,96 \text{ N} \end{aligned}$$

$$A_v = 2 \times A_s$$

$$A_s \text{ Ø10} = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$A_v = 2 \times 78,54 = 157,08 \text{ mm}^2$$

Perhitungan jarak sengkang, dimana:

$$S_{\max} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{157,08 \times 240 \times 289}{59295,6} = 237,187 \text{ mm}$$

Maka, dipakai sengkang di luar sendi plastis Ø10-100 mm.

#### ➤ Perhitungan tulangan sesudah komposit

$$V_u = 2856,172 \text{ kg} = 28561,72 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\ &= \frac{1}{6} \times \sqrt{25} \times 200 \times 240,5 \\ &= 40083,33 \text{ N} \\ \phi V_c &= 0,75 \times 40083,33 \\ &= 30062,5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$0,5\phi V_c = 0,5 \times 30062,5 = 15031,25 \text{ N}$$

Karena  $V_u > 0,5\phi V_c$  maka dibutuhkan tulangan geser minimum. Dipakai tulangan Ø10mm dengan mutu baja BJTP-240 ( $f_y = 240$  MPa)

$$\begin{aligned}
 V_s \min &= \frac{Vu}{\phi} \\
 &= \frac{28561,72}{0,75} \\
 &= 38082,29 N
 \end{aligned}$$

$$A_v = 2 \times A_s$$

$$A_s \text{ } \varnothing 10 = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$A_v = 2 \times 78,54 = 157,08 \text{ mm}^2$$

Perhitungan jarak sengkang, dimana:

$$S_{\text{maks}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{157,08 \times 240 \times 240,5}{38082,29} = 237,95 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.5.3.4 bahwa jarak maksimum antar sengkang yang tidak memerlukan sengkang tertutup tidak lebih  $d/2$  sepanjang komponen struktur, maka:

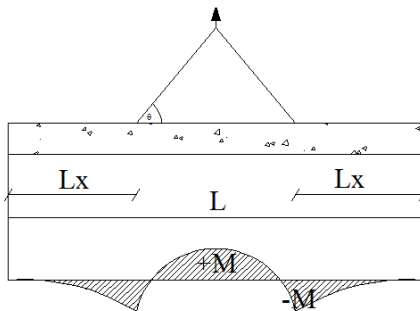
$$s \leq d/2$$

$$\leq 240,5/2 = 120,25 \text{ mm}$$

Maka, dipakai sengkang di luar sendi plastis  $\varnothing 10$ -120 mm.

#### 4.2.2.7 Pengangkatan Balok Anak

Balok anak dibuat secara pracetak di pabrik. Elemen balok harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan. Titik pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok tersebut dari kerusakan.



**Gambar 4. 10** Momen saat pengangkatan balok anak

Dimana :

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left( 1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \operatorname{tg} \theta} \right)$$

$$-M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4Y_c}{L \times \operatorname{tg} \theta}}{2 \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Y_b} \left( 1 + \frac{4Y_c}{L \times \operatorname{tg} \theta} \right)} \right)}$$

➤ **Kondisi sebelum komposit**

$$b = 20 \text{ cm}$$

$$h = 30 - 15 = 15 \text{ cm}$$

$$L = 480 \text{ cm}$$

Perhitungan:

$$Y_t = Y_b = \frac{(15)}{2} = 7,5 \text{ cm}$$

$$I = \frac{1}{12} \times 20 \times 15^3 = 5625 \text{ cm}^4$$

$$Y_c = Y_t + 5 = 12,5 \text{ cm}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4 \times 12,5}{480 \times \operatorname{tg} 45^\circ}}{2 \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{10,5}{10,5} \left( 1 + \frac{4 \times 12,5}{480 \times \operatorname{tg} 45} \right)} \right)} = 0,23$$

$$X \times L = 0,23 \times 480 = 110,4 \text{ cm} = 1,2 \text{ m}$$

$$L - 2 \times (X \times L) = 4,8 - 1,2 \times (2) = 2,4 \text{ m}$$



**Gambar 4. 1**Letak titik pengangkatan**a. Pembebanan**

Balok (0,2×0,15×4,80×2400) = 345,6 kg

$$\begin{aligned} T \sin \phi &= P = \frac{1,2 \times k \times W}{2} \\ &= \frac{1,2 \times 1,2 \times 345,6}{2} \\ &= 497,664 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$T = \frac{497,664}{\sin 45^\circ} = 703,8 \text{ kg}$$

**b. Tulangan angkat balok anak**

$P_u = 703,8 \text{ kg}$

Menurut PBBI pasal 2.2.2. tegangan ijin tarik dasar baja bertulang adalah  $f_y/1,5$ . Jika dipakai tulangan polos dengan mutu  $f_y = 240 \text{ Mpa}$ , maka:

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = 2400/1,5 = 1600 \text{ kg/m}^2$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{P_u}{\sigma_{\text{ijin}} \times \pi}}$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{703,8}{1600 \times \pi}}$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq 0,374 \text{ cm}$$

Digunakan Tulangan Ø10 mm

**c. Momen yang Terjadi**

- **Pembebanan**

Balok (0,2×0,15×2400) = 72 kg/m

Dalam upaya untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan faktor akibat pengangkatan sebesar 1,2 sebagai berikut:

- Momen lapangan

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left( 1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \tan \theta} \right) \times k$$

$$+M = \left( \frac{72 \times 4,8^2}{8} \left( 1 - 4 \times 0,23 + \frac{4 \times 0,155}{4,8 \times \tan 45} \right) \right) \times 1,2$$

$$= 72,866 \text{ kgm}$$

#### d. Tegangan yang terjadi

$$f = \frac{M}{W_t} = \frac{72,866 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 200 \times 150^2}$$

$$= 0,971 \text{ MPa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 3,22 \text{ MPa (OK)}$$

- Momen tumpuan

$$-M = \frac{WX^2}{2}$$

$$-M = \left( \frac{72 \times 1,2^2}{2} \right) \times 1,2 = 62,2 \text{ kgm}$$

#### Tegangan yang terjadi

$$f = \frac{M}{W_t} = \frac{62,2 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 200 \times 150^2}$$

$$= 0,83 \text{ MPa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 3,22 \text{ MPa (OK)}$$

Dari perhitungan momen diatas, didapatkan nilai  $f'$  akibat momen positif dan negatif berada dibawah nilai  $f'_{r_{ijin}}$  usia beton 14

hari. Jadi dapat ditarik kesimpulan, balok anak tersebut aman dalam menerima tegangan akibat pengangkatan.

#### 4.2.2.8 Kontrol Lendutan

Komponen struktur beton yang mengalami lentur harus dirancang agar memiliki kekakuan cukup untuk batas deformasi yang akan memperlemah kemampuan layan struktur saat bekerja. Sesuai SNI 03 – 2847 – 2013, syarat tebal minimum balok dengan dua tumpuan apabila lendutan tidak dihitung adalah sebagai berikut:

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times lb$$

Lendutan tidak perlu dihitung sebab sejak preliminary design telah direncanakan agar tinggi dari masing-masing tipe balok lebih besar dari persyaratan  $h_{\min}$ .

#### 4.2.2.9 Penulangan Balok Anak yang Terpasang

Penulangan balok anak yang terpakai atau yang akan dipasang adalah dipilih penulangan yang paling banyak dari kedua keadaan diatas (keadaan sebelum komposit dan sesudah komposit) yaitu sebagai berikut:

**Tabel 4. 5**Tulangan Terpasang Pada Balok Anak

Kode Balok	Bentang	Tulangan Terpasang			
		Tulangan	Tulangan	Tulangan	Tulangan
Anak	Kotor	Tumpuan	Lapangan	Senggang	Angkat
	(m)				
BA1	4,8	2D19	3D19	Ø10-100	Ø10
BA2	3,6	2D19	2D19	Ø10-100	Ø10



### 4.2.3 Perencanaan Tangga

Pada perencanaan ini, struktur tangga dimodelkan sebagai frame statis tertentu dengan kondisi ujung perletakan berupa sendi dan rol (rol diletakkan pada ujung bordes). Struktur tangga ke atas dan ke bawah tipikal.

#### 4.2.3.1 Data Perencanaan

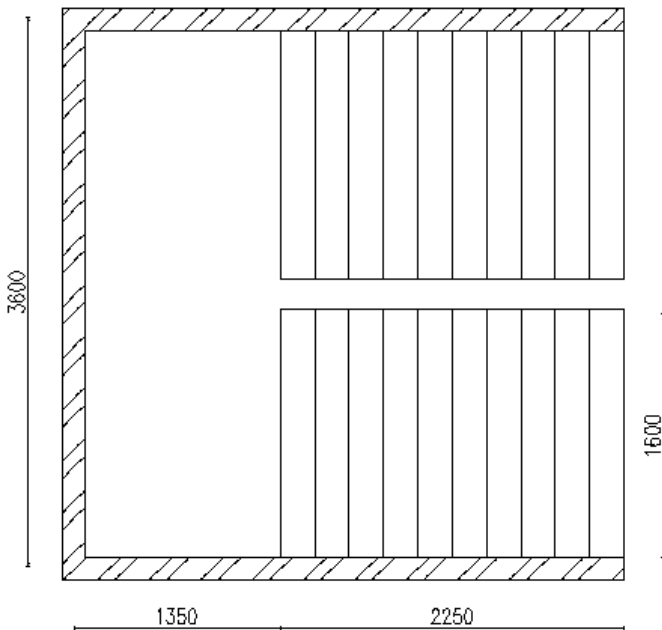
Data perencanaan yang diperlukan untuk merencanakan konstruksi tangga adalah sebagai berikut:

- Mutu beton ( $f_c'$ ) = 25Mpa
- Mutu baja ( $f_y$ ) = 400 Mpa
- Tinggi antar lantai = 380 cm
- Panjang bordes = 135 cm
- Lebar bordes = 360 cm
- Lebar tangga = 180-20 = 160cm
- Tebal pelat tangga ( $t_p$ ) = 20 cm
- Tebal pelat bordes = 20 cm
- Tinggi injakan ( $t$ ) = 19cm
- Lebar injakan ( $i$ ) = 22,5cm
- Jumlah tanjakan ( $n_T$ ) =  $\frac{\text{Tinggi lantai}}{t} = 20$  buah
- Jumlah injakan ( $n_i$ ) =  $n_T - 1 = 19$  buah
- Jumlah tanjakan ke bordes = 10 buah
- Jumlah tanjakan dari bordes ke lantai 2 = 10buah
- Elevasi bordes = 190 cm
- Panjang horizontal plat tangga bordes =  $i \times \text{jumlah injakan}$   
=  $22,5 \times 10 = 225$  cm
- Kemiringan tangga ( $\alpha$ )  
$$\tan \alpha = \frac{\text{elevasi bordes}}{\text{panjang horisontal plat tangga}} = \frac{190}{225} = 0,76$$

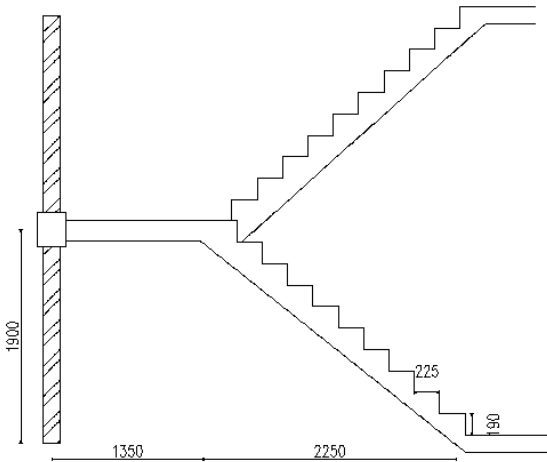
Jadi,  $\alpha = 37,23^\circ$

Cek syarat :

- $60 \leq (2t + i) \leq 65$   
 $60 \leq (2 \times 19 + 22,5) \leq 65$   
 $60 \leq 60,5 \leq 65 \dots \dots \dots (\text{OK})$
- $25 \leq \alpha \leq 40$   
 $25 \leq 37,23^\circ \leq 40 \dots (\text{OK})$
- Tebal plat rata-rata anak tangga =  $(25/2) \sin \alpha$   
 $= (25/2) \sin 37,23^\circ$   
 $= 7,562 \text{ cm}$
- Tebal plat rata-rata =  $t_p + t_r = 20 + 7,562$   
 $= 27,562 \text{ cm} \approx 28 \text{ cm}$



**Gambar 4. 12**Perencanaan tangga tampak atas



**Gambar 4. 13**Potongan tangga

#### 4.2.3.2 Perhitungan Pembebanan dan Analisa Struktur

##### a. Pembebanan Tangga

###### Beban Mati (DL)

$$\text{Pelat tangga} = \frac{0,28}{\cos 37,23^\circ} \times 2400 = 844 \text{ kg/m}$$

$$\text{Tegel horizontal} = 24 \text{ kg/m}$$

$$\text{Tegel vertikal} = 24 \text{ kg/m}$$

$$\text{Spesi horizontal (2 cm)} = 42 \text{ kg/m}$$

$$\text{Spesi vertical (2 cm)} = 42 \text{ kg/m}$$

$$\text{Sandaran} = 50 \text{ kg/m} +$$

$$\text{Total (DL)} = 1026 \text{ kg/m}$$

$$\text{Beban Hidup (LL): } 1 \text{ m} \times 500 \text{ kg/m}^2 = 500 \text{ kg/m}$$

Kombinasi Beban:

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 (1026) + 1,6 (500) \\ &= 2031,2 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

##### b. Pembebanan Pelat Bordes

**Beban Mati (DL)**

Pelat bordes	$= 0,2 \times 2400 \times 1 \text{ m}$	$= 324 \text{ kg/m}$
Spesi	$= 2 \times 21 \times 1 \text{ m}$	$= 42 \text{ kg/m}$
Tegel	$= 24 \times 1 \text{ m}$	$= 24 \text{ kg/m} +$
Total (LL)		$= 370 \text{ kg/m}$

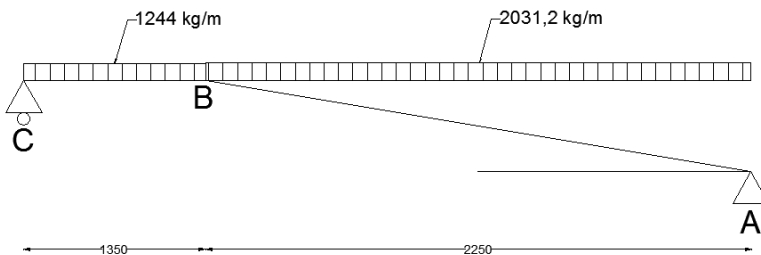
**Beban Hidup (LL):**  $1 \text{ m} \times 500 \text{ kg/m}^2 = 500 \text{ kg/m}$

Kombinasi Beban:

$$\begin{aligned}
 Q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\
 &= 1,2 (370) + 1,6 (500) \\
 &= 1244 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

**4.2.3.3 Analisa Gaya-Gaya Dalam**

Pada proses analisa struktur tangga ini, menggunakan perhitungan statis tak tentu dengan menggunakan perletakan Sendi-Rol, dimana pembebanan tangga dan output seperti dibawah ini :



**Gambar 4. 14** Sketsa beban pada tangga

- $\sum M_A = 0$   
 $(RC \times 3,6) - (q_2 \times 1,35 \times (0,675 + 2,25)) - (q_1 \times 2,25 \times 1,125) = 0$   
 $(RC \times 3,6) - 4912,245 - 5141,475 = 0$   
 $RC = 2792,7 \text{ kg}$
- $\sum M_C = 0$   
 $(RA \times 3,6) - (q_2 \times 1,35 \times 0,675) - (q_1 \times 2,25 \times (1,125 + 1,35)) = 0$   
 $(RA \times 3,6) - 1133,595 - 11311,245 = 0$   
 $RA = 3456,9 \text{ kg}$

- $\sum H = 0$   
 $H_A = 0$

### Kontrol

- $\sum V_A = 0$   
 $R_A + R_C - (q_2 \times 1,35) - (q_1 \times 2,25) = 0$   
 $3456,9 + 2792,7 - (1244 \times 1,35) - (2031,2 \times 2,25) = 0$   
 $0 = 0 \dots\dots (\text{OK})$

### Pelat Bordes C-B (1,35 m)

#### a. Gaya Momen (M)

$$\begin{aligned} M_{x_1} &= R_C \times x_2 - \frac{1}{2} q_2 \times x_2^2 \\ MC &= 0 \\ MB &= R_C \times x_2 - \frac{1}{2} q_2 \times x_2^2 \\ MB &= 2792,7 \times 1,35 - \frac{1}{2} \times 1244 \times 1,35^2 \\ &= 2636,55 \text{ kgm} \end{aligned}$$

#### b. Gaya Lintang (D)

$$\begin{aligned} \text{Titik C} \quad D_{C \text{ kanan}} &= R_C = 2792,7 \text{ kg} \\ \text{Titik B} \quad D_{B \text{ kiri}} &= R_C - (q_2 \times 1,35) = 1113,3 \text{ kg} \end{aligned}$$

#### c. Gaya Normal (N)

$$N_{C-B} = 0 \text{ kg}$$

### Pelat A-B (2,25 m)

#### a. Gaya Momen (M)

$$\begin{aligned} M_{x_1} &= R_A \times x_1 - \frac{1}{2} q_1 \times x_1^2 \\ \text{Momen maksimum apabila :} \end{aligned}$$

$$\frac{\sum M_{x_1}}{\sum X_1} = 0$$

$$R_A - q_1 \times x = 0$$

$$x = \frac{R_A}{q_1} = \frac{3456,9}{2031,2} = 1,7 \text{ m} < 2,25 \text{ m}$$

Momen maksimum terjadi di titik  $x = 1,7 \text{ m}$

$$\begin{aligned} M_{\max} &= R_A \times x - \frac{1}{2} q_1 \times x^2 \\ &= 3456,9 \times 1,7 - \frac{1}{2} \times 2031,2 \times 1,7^2 \\ &= 2941,646 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Titik A,  $M_A = 0 \text{ kgm}$

$$\begin{aligned}
 M_B &= R_A \times x_1 - \frac{1}{2} q_1 \times x_1^2 \\
 &= 3456,9 \times 2,25 - \frac{1}{2} \times 2031,2 \times 2,25^2 \\
 &= 2636,55 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

b. Gaya Lintang (D)

$$D_x = R_A \times \cos 37,23^\circ - (q_1 \cos 37,23^\circ \times x_1)$$

$$\text{Titik A } (x_1 = 0) ; D_A = R_A \times \cos 37,23^\circ = 2752,43 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Titik B } (x_1 = 2,25 \text{ m}) ; D_B &= (R_A - (q_1 \times x_1)) \times \cos 37,23^\circ \\
 &= (3456,9 - (2031,2 \times 2,25)) \times 0,796 \\
 &= -885,83 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

c. Gaya Normal (N)

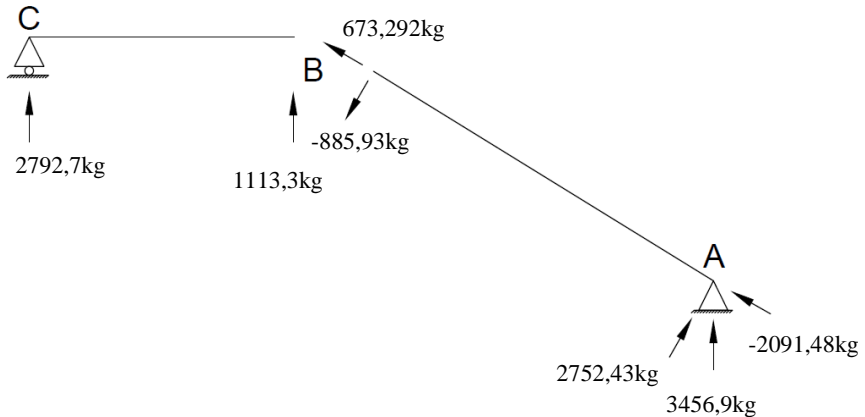
$$\text{Titik A: } N_A = -R_A \sin 37,23^\circ = -3456,9 \times \sin 37,23^\circ$$

$$N_A = -2091,48 \text{ kg}$$

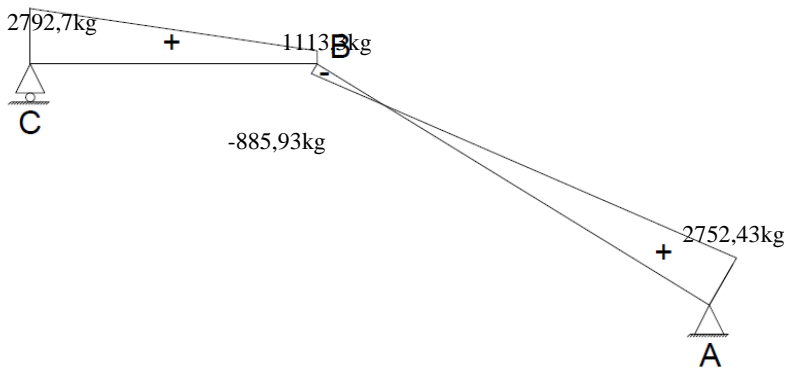
$$\text{Titik B: } N_B = -R_A \sin 37,23^\circ + q_1 \sin 37,23^\circ \times 2,25 \text{ m}$$

$$N_B = -3456,9 \sin 37,23^\circ + 2031,2 \sin 37,23^\circ \times 2,25$$

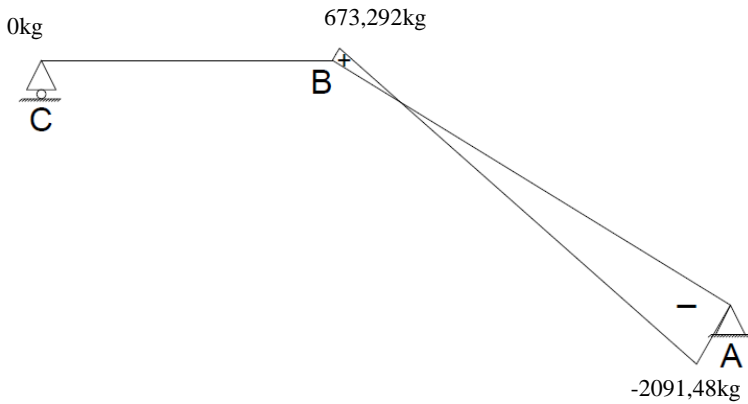
$$N_B = 673,292 \text{ kg}$$



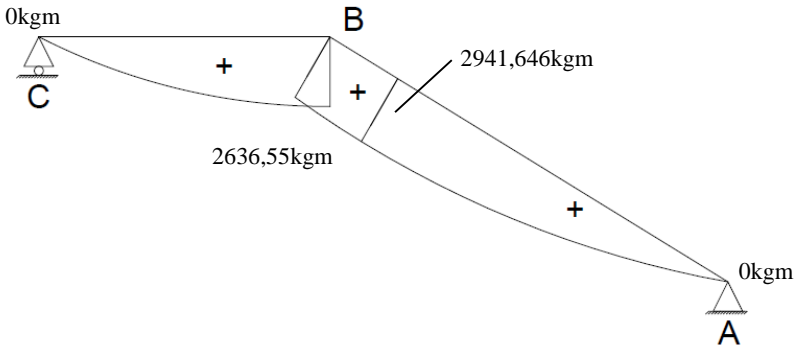
**Gambar 4. 15**Free body diagram gaya-gaya pada tangga



**Gambar 4. 16** Bidang lintang (D) pada tangga



**Gambar 4. 17** Bidang normal (N) pada tangga



**Gambar 4. 18** Bidang momen (M) pada tangga

#### 4.2.3.4 Perhitungan Tulangan Pelat Tangga dan Bordes

##### ▪ Perhitungan Penulangan Pelat Tangga

Data – Data Perencanaan

Mutu beton ( $f'_c$ )	= 25 MPa
Mutu baja ( $f_y$ )	= 400 MPa
Berat jenis beton	= 2400 kg/m <sup>3</sup>
D tulangan lentur	= 16 mm
Tebal pelat tangga	= 200 mm
Tebal pelat bordes	= 200 mm
Tebal selimut beton	= 20 mm

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(25-28)}{7} \geq 0,65 = 0,871$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 0,871 \times 25 \left( \frac{600}{600 + 400} \right)}{400} = 0,028$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,028 = 0,021$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$



$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y}$$

$$= \frac{0,25 \times \sqrt{25}}{400} = 0,0031$$

$\rho_{\min}$  dipilih yang paling besar yaitu 0,0035

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,823$$

$$d = 200 - 20 - (0,5 \times 16) = 172 \text{ mm}$$

### **Penulangan pelat tangga**

➤ Tulangan utama

$$M_{\max} = 2941,646 \text{ kgm} = 29416460 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times b \times d^2} = \frac{29416460}{0,8 \times 1000 \times 172^2} = 1,243$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{18,823} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,823 \times 1,243}{400}} \right) = 0,0032$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0032 < \rho_{\min} = 0,0035$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0035 \times 1000 \times 172 = 602 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah:

Jarak tulangan utama  $\leq 3 \times$  tebal pelat, maka:

$$S \leq 3 \times 200$$

$$\leq 600 \text{ mm}$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s \text{ D16}}}$$

$$= \frac{602}{200,96} = 2,99 \approx \text{dipakai 4 buah}$$

Jarak tulangan,  $S = 1000/4 = 250 \text{ mm} < S_{\text{maks}} \dots (\text{OK})$   
 Maka digunakan tulangan lentur D16-250 mm.

➤ Penulangan lentur arah melintang pelat

Pada penulangan arah Y dipasang tulangan pembagi untuk menahan susut dan suhu dengan  $\rho_{\text{min}} = 0,002$  (SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.1)

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= 0,002 \times b \times d \\ &= 0,002 \times 1000 \times 172 = 344 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

Jarak tulangan minimum,  $S \leq 5 \times \text{tebal pelat}$ , maka:  
 $\leq 5 \times 200$   
 $\leq 1000 \text{ mm}$

$S \leq 450 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S \text{ D16}}} \\ &= \frac{344}{200,96} = 1,71 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Jarak tulangan,  $S = 1000/2 = 500 \text{ mm} > S_{\text{maks}}$

Maka digunakan tulangan susut D16- 450 mm.

**Penulangan pelat bordes**

➤ Tulangan utama

$M_{\text{max}} = 2636,55 \text{ kgm} = 26365500 \text{ Nmm}$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times 1000 \times d y^2} = \frac{26365500}{0,8 \times 1000 \times 172^2} = 1,114$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,823} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,823 \times 1,114}{400}} \right) = 0,0028 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0028 < \rho_{\text{min}} = 0,0035$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0035 \times 1000 \times 172 = 602 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah:

Jarak tulangan utama  $\leq 3 \times$  tebal pelat, maka:

$$S \leq 3 \times 200$$

$$\leq 600 \text{ mm}$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_s \text{ D16}}$$

$$= \frac{602}{200,96} = 2,99 \approx \text{dipakai 4 buah}$$

Jarak tulangan,  $S = 1000/4 = 250 \text{ mm} < S_{\text{maks}} \dots \dots (\text{OK})$

Maka digunakan tulangan lentur D16-250 mm.

➤ Penulangan lentur arah melintang pelat

Pada penulangan arah Y dipasang tulangan pembagi untuk menahan susut dan suhu dengan  $\rho_{\text{min}} = 0,002$  (SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.1)

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 0,002 \times b \times d$$

$$= 0,002 \times 1000 \times 172 = 344 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

Jarak tulangan minimum,  $S \leq 5 \times$  tebal pelat, maka:

$$\leq 5 \times 200$$

$$\leq 1000 \text{ mm}$$

$S \leq 450 \text{ mm}$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_s \text{ D16}}$$

$$= \frac{344}{200,96} = 1,71 \approx 2 \text{ buah}$$

Jarak tulangan,  $S = 1000/2 = 500 \text{ mm} > S_{\text{maks}}$

Maka digunakan tulangan susut D16-450 mm.

- Perencanaan dimensi balok bordes

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times L = \frac{1}{16} \times 360 = 22,5 \approx 30 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 30 = 20 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm}$$

Dipakai dimensi balok bordes 25/30

- Pembebanan Balok Bordes

Beban Mati

$$\text{Berat sendiri balok} = 0,25 \times 0,3 \times 2400 = 180 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat dinding} = 1,9 \times 250 = 475 \text{ kg/m} +$$

$$q_d = 655 \text{ kg/m}$$

$$q_d \text{ ultimate} = 1,2 \times q_d = 1,2 \times 655 = 786 \text{ kg/m}$$

$$\text{beban pelat bordes} = 1244 \text{ kg/m} +$$

$$q_u = 2030 \text{ kg/m}$$

$$\text{Momen tumpuan} = \frac{1}{24} \times q_u \times L^2$$

$$= \frac{1}{24} \times 2030 \times 3,6^2$$

$$= 1096,2 \text{ kgm}$$

$$= 10962000 \text{ Nmm}$$

$$\text{Momen lapangan} = \frac{1}{12} \times q_u \times L^2$$

$$= \frac{1}{12} \times 2030 \times 3,6^2$$

$$= 2192,4 \text{ kgm}$$

$$= 21924000 \text{ Nmm}$$

$$V_u \text{ total} = 0,5 \times q_u \times L = 0,5 \times 2030 \times 3,6 = 3654 \text{ kg}$$

- Penulangan Lentur Balok Bordes

Direncanakan:

$$\text{Diameter sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan utama} = 19 \text{ mm}$$

$$\text{Sehingga, } d = 300 - 40 - 10 - 19/2 = 240,5 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(25-28)}{7} \geq 0,65 = 0,871$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,871 \times 25}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,028 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,028 = 0,021$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{25}}{400} = 0,0031 \end{aligned}$$

$\rho_{\min}$  dipilih yang paling besar yaitu 0,0035

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,823$$

#### ➤ Penulangan Tumpuan

$$M_{\max} = 10962000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times b \times d^2} = \frac{10962000}{0,8 \times 250 \times 240,5^2} = 0,95$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,823} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,823 \times 0,95}{400}} \right) = 0,0024 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0024 < \rho_{\min} = 0,0035$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 250 \times 240,5 = 210,44 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah:

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_s \text{ D16}} \\ &= \frac{210,44}{200,96} = 1,04 \approx \text{dipakai 2 buah} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan tumpuan atas 2 D16

$$\begin{aligned} A_{s'} \text{ perlu} &= 0,5 \times A_{s_{\text{perlu}}} \\ &= 0,5 \times 210,44 \text{ mm}^2 \\ &= 204,44 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_s \text{ D16}} \\ &= \frac{105,22}{200,96} = 0,52 \approx \text{dipakai 2 buah} \end{aligned}$$

digunakan tulangan tumpuan bawah 2 D16

➤ Penulangan Lapangan:

$$M_{\text{lapangan}} = 21924000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{0,8 \times b \times d^2} = \frac{21924000}{0,8 \times 250 \times 240,5^2} = 1,89$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,823} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,823 \times 1,89}{400}} \right) = 0,005 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,005 > \rho_{\text{min}} = 0,0036$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,005 \times 250 \times 240,5 = 300,625 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah:

$$\begin{aligned}
 n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s \text{ D16}}} \\
 &= \frac{300,625}{200,96} = 1,49 \approx \text{dipakai 2 buah}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lapangan bawah 2 D16

$$\begin{aligned}
 A_{s'} \text{ perlu} &= 0,5 \times A_{s_{\text{perlu}}} \\
 &= 0,5 \times 300,625 \text{ mm}^2 \\
 &= 150,31 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s \text{ D19}}} \\
 &= \frac{150,31}{200,96} = 0,78 \approx \text{dipakai 2 buah}
 \end{aligned}$$

digunakan tulangan lentur 2 D16

- Penulangan Geser Balok Bordes

$$V_u = 36540 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{25} \times 250 \times 240,5 = 50104,17 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 50104,17 = 37578,13 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 37578,13 = 18789,065 \text{ N}$$

$$V_{s \text{ min}} = \frac{1}{3} \times 250 \times 240,5 = 20041,67 \text{ N}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5(5.1): Bila  $V_u$  kurang dari setengah kuat geser yang disumbangkan oleh beton  $\phi V_c$ , maka tidak perlu diberi tulangan geser. Karena  $\phi V_c < V_u$  maka diperlukan tulangan geser.

$$V_{s \text{ perlu}} = \left( \frac{V_u}{\phi} \right) - V_c = \left( \frac{36540}{0,75} \right) - 37578,13$$

$$= 11141,87 \text{ N}$$

Diameter tulangan geser Ø10 mm

$$A_v = 2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.4 ketentuan jarak maksimum antar sengkang tertutup tidak boleh melebihi  $d/2$  atau 600 mm untuk komponen struktur non prategang

$$s = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{157,08 \times 240 \times 240,5}{11141,87} = 813,746 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat } s < \frac{d}{2} = \frac{240,5}{2} = 120,25 \text{ mm}$$

Pasang Ø10 – 120 mm

#### 4.2.4 Perencanaan Balok Lift

##### 4.2.4.1 Data Perencanaan

Perencanaan yang dilakukan pada lift ini meliputi balok-balok yang berkaitan dengan mesin lift. Pada bangunan ini digunakan lift penumpang yang diproduksi oleh SIGMA Elevator Company dengan data-data spesifikasi sebagai berikut:

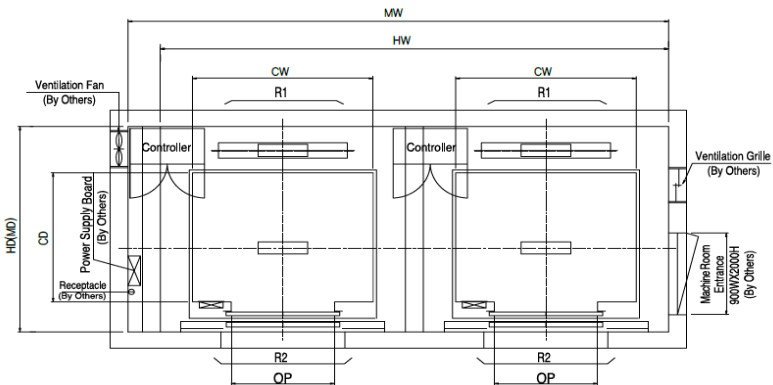
Tipe Lift	: IRIS NV Standard
Kapasitas	: 750 Kg
Kecepatan	: 1.0 m/s
Motor	: 18.5 KW
Lebar pintu ( <i>opening width</i> )	: 800 mm
Dimensi sangkar ( <i>car size</i> )	
- <i>Car wide</i> (CW)	: 1400 mm
- <i>Car depth</i> (CD)	: 1350 mm
Dimensi ruang luncur ( <i>hoistway size</i> ) Simplex	
- <i>Hoistway width</i> (HW)	: 1800 mm
- <i>Hoistway depth</i> (HD)	: 2000 mm
Beban reaksi ruang mesin	
R <sub>1</sub>	: 5200 kg
R <sub>2</sub>	: 3750 kg

Untuk lebih jelasnya mengenai spesifikasi lift berikut disajikan dalam tabel 4.5:

**Tabel 4. 6**Spesifikasi C300 Passenger Elevator



Speed (m/s)	Capacity		Opening Width (mm)	Car Size		Hoistway Size				Machine Room Size				Reaction Load			
						Simplex		Duplex		Simplex		Duplex		Machine Room		Pit	
	Person	Load(kg)		CW	CD	HW	HD	HW	HD	MW	MD	MW	MD	R1	R2	R3	R4
1.0	6	450	800	1400	850	1800	1500	3750	1500	1800	1500	3750	1500	3600	2000	3800	3150
	8	550	800	1400	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	4050	2500	4550	3350
	9	600	800	1400	1130	1800	1750	3750	1750	1800	1750	3750	1750	4100	2500	4700	3450
	10	680	800	1400	1250	1800	1900	3750	1900	1800	1900	3750	1900	4200	2850	5000	3650
	11	750	800	1400	1350	1800	2000	3750	2000	1800	2000	3750	2000	4550	2900	5200	3750
	13	900	900	1600	1350	2000	2000	4150	2000	2000	2000	4150	2000	5100	3800	6300	4500
	15	1000	900	1600	1500	2000	2150	4150	2150	2000	2150	4150	2150	5450	4300	6600	4700
	17	1150	1000	1800	1500	2350	2200	4850	2200	2350	2200	4850	2200	8000	5200	9550	7150
			1100	2000	1350	2550	2050	5250	2050	2550	2050	5250	2050				
	20	1350	1000	1800	1700	2350	2400	4850	2400	2350	2400	4850	2400	8900	6000	10200	7500
			1100	2000	1500	2550	2200	5250	2200	2550	2200	5250	2200				
	24	1600	2000	1750	2550	2450	5250	2450	2550	2450	2550	2450	2450	10200	7000	10950	8700
			2150	1600	2700	2300	5550	2300	2700	2300	2700	2300	2700				



**Gambar 4. 29**Denah Lift

#### 4.2.4.2 Perencanaan Dimensi Balok Lift

##### ▪ Balok Penumpu

Panjang balok penumpu = 360 cm

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times 360 \text{ cm} = 22,5 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 22,5 = 15 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm}$$

Dirancang dimensi balok 25/40 cm

##### ▪ Balok Penggantung Lift

Panjang balok penggantung lift = 240 cm

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times 240 \text{ cm} = 15 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 15 = 10 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm}$$

Dirancang dimensi balok 25/40 cm

#### 4.2.4.3 Pembebanan Lift

##### 1. Beban yang bekerja pada balok penumpang

Beban yang bekerja merupakan beban akibat dari mesin penggerak lift + berat kereta luncur + perlengkapan, dan akibat bandul pemberat + perlengkapan.

##### 2. Koefisien kejut beban hidup oleh keran

Pasal 3.3(3) PPIUG 1983 menyatakan bahwa beban keran yang membebani struktur pemikulnya terdiri dari berat sendiri keran ditambah muatan yang diangkatnya, dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau. Sebagai beban rencana harus diambil beban keran tersebut dengan mengalikannya dengan suatu koefisien kejut yang ditentukan dengan rumus berikut:

$$\Psi = (1 + k_1 k_2 v) \geq 1,15$$

Dimana:

$\Psi$  = koefisien kejut yang nilainya tidak boleh diambil kurang dari 1,15.

$v$  = kecepatan angkat maksimum dalam m/det padapengangkatan muatan maksimum dalam kedudukankeran induk dan keran angkat yang palingmenentukan bagi struktur yang ditinjau, dan nilainya tidak perlu diambil lebih dari 1,00 m/s.

$k_1$  = koefisien yang bergantung pada kekakuan strukturkeran induk, yang untuk keran induk dengan struktur rangka, pada umumnya nilainya dapat diambil sebesar 0,6

$k_2$  = koefisien yang bergantung pada sifat mesin angkat dari keran angkatnya, dan diambil sebesar 1,3

Jadi, beban yang bekerja pada balok adalah:

$$\begin{aligned} P &= \sum R \times \Psi = (5200 + 3750) \times (1 + 0,6 \times 1,3 \times 1) \\ &= 15931 \text{ kg} \end{aligned}$$

#### 4.2.4.4 Balok Penggantung Lift 25/40

##### a. Pembebanan

Beban mati lantai:

$$\text{Berat pelat} = 0,15 \times 2400 = 360 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Aspal (t=2cm)} = 0,02 \times 1400 = 28 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Ducting + Plumbing} &= 30 \text{ kg/m}^2 + \\ &= 408 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$Q = 408 \times 2,4 \text{ m} = 979,2 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Akibat balok} &= 0,25 \times 0,4 \times 2400 = 240 \text{ kg/m} + \\ Q_d &= 1219,2 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban Hidup ( $q_1$ ):

$$Q_1 = 100 \text{ kg/m}$$

Beban berfaktor

$$\begin{aligned} q_u &= 1,2 q_d + 1,6 q_L \\ &= 1,2 \times 1219,2 + 1,6 \times 100 \\ &= 1623,04 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban terpusat lift  $P = 15931 \text{ kg}$

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{1}{2} q_u L + \frac{1}{2} P \\ &= \frac{1}{2} \times 1623,04 \times 2,4 + \frac{1}{2} \times 15931 \\ &= 9913,148 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_u &= \frac{1}{8} q_u L^2 + \frac{1}{4} pL \\
 &= \frac{1}{8} \times 1623,04 \times 2,4^2 + \frac{1}{4} \times 15931 \times 2,4 \\
 &= 10727,19 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

### Data Perencanaan:

$f_c'$	= 25 Mpa
$f_y$	= 400 Mpa
Tulangan utama	= D19 mm
Tulangan sengkang	= Ø10 mm

$$b = 25 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$d = 400 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 19 = 340,5 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(25-28)}{7} \geq 0,65 = 0,871$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 0,871 \times 25}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,028
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,028 = 0,021$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \\
 &= \frac{0,25 \times \sqrt{25}}{400} = 0,0031
 \end{aligned}$$

$\rho_{\min}$  dipilih yang paling besar yaitu 0,0035

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,823$$

### b. Perhitungan Tulangan Lentur

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{107271900}{0,8 \times 250 \times 340,5^2} = 4,626$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{18,823} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,823 \times 4,626}{400}} \right) = 0,0132$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0132 > \rho_{\text{min}} = 0,0036$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0132 \times 250 \times 340,5 = 1123,65 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah:

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_s \text{ D19}}$$

$$= \frac{1123,65}{283,385} = 3,9 \approx \text{dipakai 4 buah}$$

Maka dipasang tulangan 4 D19 (1133,54mm<sup>2</sup>)

### c. Perhitungan Tulangan Geser

$$V_u = 9913,148 \text{ kg} = 99131,48 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$= \frac{1}{6} \times \sqrt{25} \times 250 \times 340,5$$

$$= 70937,5 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 70937,5$$

$$= 53203,13 \text{ N}$$

$$\phi V_{s \text{ min}} = 0,75 \times 1/3 \times 250 \times 340,5$$

$$= 21281,25 \text{ N}$$

$$\phi(V_c + V_{s \text{ min}}) = 74484,38 \text{ N}$$

$$\phi \left( V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b w \times d \right)$$

$$= 0,75 \left( 70937,5 + \frac{1}{3} \sqrt{25} \times 250 \times 340,5 \right)$$

$$= 159609,4 N$$

$$\phi(V_c + V_{s \text{ min}}) < V_u < \phi \left( V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b w \times d \right)$$

Maka perlu tulangan geser

$$\phi V_{s \text{ perlu}} = V_u - \phi V_c$$

$$\phi V_{s \text{ perlu}} = 99131,48 - 53203,13 = 45928,35 N$$

$$V_{s \text{ perlu}} = 61237,8 N$$

Syarat  $s_{\max} < d/2 = 340,5/2 = 170,25 \text{ mm}$  dan  $s_{\max} < 600 \text{ mm}$

$$A_v = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 157 \text{ mm}^2$$

Pasang D10 – 150 mm

Kontrol  $V_s$

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{157 \times 400 \times 340,5}{150} = 142556 \text{ N} > V_u$$

Sehingga untuk perencanaan penulangan balok penggantung lift digunakan tulangan lentur dan tulangan geser dengan perincian sebagai berikut:

- Tulangan lentur 4D19
- Tulangan geser D10 – 150 mm

#### 4.2.4.5 Balok Penumpu Lift 25/40

##### a. Pembebanan

Beban mati lantai:

$$\text{Berat pelat} = 0,15 \times 2400 = 360 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Aspal (t=2cm)} = 0,02 \times 1400 = 28 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Ducting + Plumbing} = \underline{30 \text{ kg/m}^2} +$$

$$= 408 \text{ kg/m}^2$$

$$Q = 408 \times 1,8 \text{ m} = 734,4 \text{ kg/m}$$

$$\text{Akibat balok} = 0,25 \times 0,4 \times 2400 = \underline{240 \text{ kg/m}} +$$

$$Q_d = 974,4 \text{ kg/m}$$

Beban Hidup ( $q_1$ ):

$$Q_1 = 100 \text{ kg/m}$$

Beban berfaktor

$$\begin{aligned} q_u &= 1,2 q_d + 1,6 q_L \\ &= 1,2 \times 734,4 + 1,6 \times 100 \\ &= 1329,8 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban terpusat balok

$$\begin{aligned} P &= \sum R \times \Psi = (5200 + 3750) \times (1 + 0,6 \times 1,3 \times 1) \\ &= 15931 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{1}{2} q_u L + \frac{1}{2} P \\ &= \frac{1}{2} \times 1329,8 \times 1,8 + \frac{1}{2} \times 15931 \\ &= 9162,32 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{1}{8} q_u L^2 + \frac{1}{4} PL \\ &= \frac{1}{8} \times 1329,8 \times 1,8^2 + \frac{1}{4} \times 15931 \times 1,8 \\ &= 7707,519 \text{ kgm} \end{aligned}$$

### Data Perencanaan:

$$f_c' = 25 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tulangan utama} = D19 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan sengkang} = D10 \text{ mm}$$

$$b = 25 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$d = 400 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 19 = 340,5 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(25-28)}{7} \geq 0,65 = 0,871$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,871 \times 25}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,028\end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,028 = 0,021$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{25}}{400} = 0,0031\end{aligned}$$

$\rho_{\min}$  dipilih yang paling besar yaitu 0,0035

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,823$$

#### d. Perhitungan Tulangan Lentur

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{498135683,8}{0,8 \times 250 \times 340,5^2} = 3,32$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,823} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,823 \times 3,32}{400}} \right) = 0,009\end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,009 > \rho_{\min} = 0,0036$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned}A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,009 \times 250 \times 340,5 = 766,125 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah:

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_s \text{ D19}}$$



$$= \frac{766,125}{283,385} = 2,7 \approx \text{dipakai 3 buah}$$

Maka dipasang tulangan 3 D29 (850,155 mm<sup>2</sup>)

#### e. Perhitungan Tulangan Geser

$$V_u = 9162,32 \text{ kg} = 91623,2 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f'c} \times b_w \times d \\ &= \frac{1}{6} \times \sqrt{25} \times 250 \times 340,5 \\ &= 70937,5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times 70937,5 \\ &= 53203,13 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_{s \text{ min}} &= 0,75 \times 1/3 \times 250 \times 340,5 \\ &= 21281,25 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi(V_c + V_{s \text{ min}}) = 74484,38 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} &\phi \left( V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \times b_w \times d \right) \\ &= 0,75 \left( 70937,5 + \frac{1}{3} \sqrt{25} \times 250 \times 340,5 \right) \\ &= 159609,4 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi(V_c + V_{s \text{ min}}) < V_u < \phi \left( V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \times b_w \times d \right)$$

Syarat  $s_{\text{max}} < d/2 = 340,5/2 = 170,25 \text{ mm}$  dan  $s_{\text{max}} < 600 \text{ mm}$

$$A_v = 2 \times 1/4 \times \pi \times 10^2 = 157 \text{ mm}^2$$

Pasang  $\phi 10 - 170 \text{ mm}$

Kontrol  $V_s$

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{157 \times 400 \times 340,5}{170} = 125784,7 \text{ N} > V_u$$

Sehingga untuk perencanaan penulangan balok penumpu depan dan belakang digunakan tulangan lentur dan tulangan geser dengan perincian sebagai berikut:

- Tulangan lentur 3D19
- Tulangan geser D10 – 170 mm

### 4.3 Pemodelan Struktur

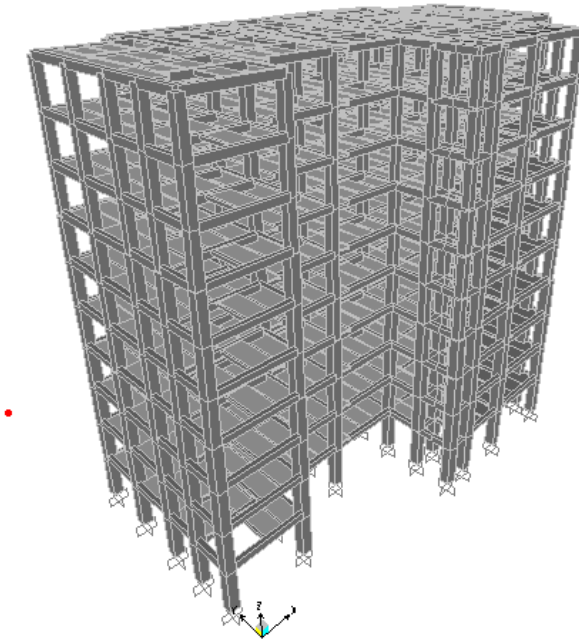
#### 4.3.1 Umum

Dalam perencanaan gedung bertingkat perlu dilakukan adanya perencanaan pembebanan gravitasi maupun pembebanan gempa. Hal ini bertujuan agar struktur gedung tersebut mampu untuk memikul beban yang terjadi. Pembebanan gravitasi mengacu pada ketentuan SNI 03-2847-2013 dan pembebanan gempa mengacu pada SNI 03-1726-2012 yang di dalamnya terdapat ketentuan dan persyaratan perhitungan beban gempa.

#### 4.3.2 Data-Data Perencanaan

Data-data perancangan gedung Laboratorium Teknik Industri ITS Surabaya adalah sebagai berikut:

Mutu beton ( $f_c'$ ) (Balok, Pelat)	: 25 MPa
(Kolom)	: 25 MPa
Mutu baja tulangan ( $f_y$ )	: 400 MPa
Fungsi bangunan	: Gedung Sekolah
Jumlah tingkat	: 10 Lantai
Tinggi tiap tingkat	: 3,8 meter
Tinggi bangunan	: + 38 meter
Dimensi balok induk	: 40/60 cm <sup>2</sup>
Dimensi balok anak	: 20/30 cm <sup>2</sup>
Dimensi kolom (Lantai 1-4 )	: 90/90 cm <sup>2</sup>
(Lantai 5-7 )	: 80/80 cm <sup>2</sup>
(Lantai 8-10)	: 70/70 cm <sup>2</sup>
Zona gempa	: Tinggi



**Gambar 4. 20**Permodelan 3D Struktur Utama

#### 4.3.3 Perhitungan Berat Struktur

Pembebanan gravitasi struktur pada Sistem Rangka Pemikul Momen hanya diterima oleh rangka. Pembebanan ini termasuk beban mati dan beban hidup yang terjadi pada struktur.

- **Pembebanan gravitasi pada lantai 1-9**

Beban Mati (DL)

Rangka +Plafond	= 18	= 18 kg/m <sup>2</sup>
Spesi (2 cm)	= 2 x 21	=42 kg/m <sup>2</sup>
Tegel (2 cm)	= 2 x 24	= 48 kg/m <sup>2</sup>
Sanitasi	= 20	= 20 kg/m <sup>2</sup>
PlumbingDucting	= 10	=10 kg/m <sup>2</sup> +
		DL= 138 kg/m <sup>2</sup>

- **Pembebanan Pada Atap**

Beban Mati (DL)

Rangka +Plafond	= 18	=18 kg/m <sup>2</sup>
Spesi (2 cm)	= 2 x 21	=42 kg/m <sup>2</sup>
Aspal	= 14	= 14 kg/m <sup>2</sup>
PlumbingDucting	= 10	= 10 kg/m <sup>2</sup> +
		<u>DL=84kg/m<sup>2</sup></u>

#### • **Beban Hidup (LL)**

Berdasarkan RSNI 03-1727-2013 Pasal 4.7.3 koefisien reduksi untuk beban hidup struktur yang menumpu dua lantai atau lebih sebesar 20%. Jadi total beban hidup:

$$\text{Beban hidup lantai} = 0,8 \times 250 = 200 \text{ kg.}$$

Perhitungan nilai total berat bangunan ini akan digunakan untuk menentukan gaya geser statik. Nilai tersebut digunakan untuk mengecek apakah perhitungan struktur gedung tower C apartemen Aspen Admiralty yang menggunakan pembebanan gempa dinamik gaya geser nya sudah mencapai 80% gaya geser statik.

Pada tugas akhir ini perhitungan berat struktur diambil dari hasil analisis menggunakan program SAP 2000 untuk kombinasi 1D+1L.

#### **4.3.4 Kombinasi Pembebanan**

Kombinasi pembebanan diperlukan dalam sebuah perencanaan struktur bangunan. Pada saat konstruksi, tentunya beban-beban yang bekerja pada struktur hanyalah beban-beban mati saja dan beban hidup sementara akibat dari pekerja bangunan. Sedangkan pada masa layan, beban-beban hidup permanen dari aktifitas pemakai gedung dan barang-barang inventaris yang dapat bergerak di dalam gedung. Hal ini tentunya akan berdampak pada kekuatan rencana elemen struktur yang direncanakan berdasarkan kombinasi pembebanan terbesar akibat penjumlahan beban-beban yang bekerja dengan faktor beban LRFD (*Load Resistance Factor Design*).

Kombinasi pembebanan yang dipakai pada struktur gedung ini mengacu pada SNI 03-1726-2012 bangunan tahan gempa sebagai berikut:

- 1,4 DL
- 1,2 DL + 1,6 LL
- 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 Ex
- 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 Ey
- 1,0 DL + 1,0 LL
- 0,9 DL + 1,0 Ex
- 0,9 DL + 1,0 Ey

Keterangan :

DL : beban mati

LL : beban hidup

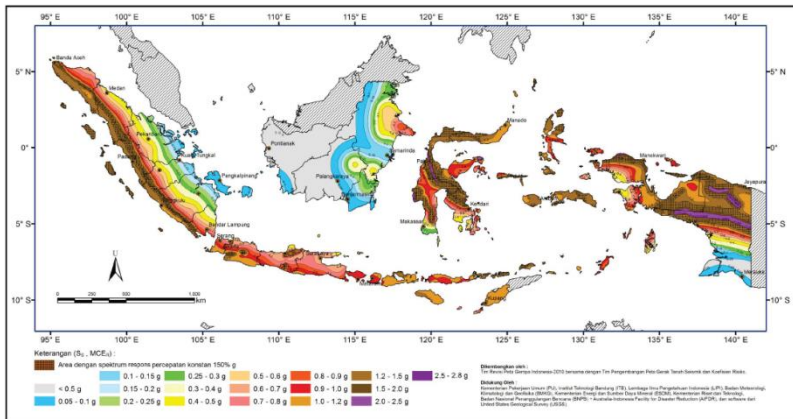
Ex : beban gempa arah x

Ey : beban gempa arah y

### 4.3.5 Analisa Beban Gempa

#### 4.3.5.1 Percepatan Respon Spektrum (MCE)

Penentuan wilayah gempa dapat dilihat pada Gambar 4.22 dan Gambar 4.23



**Gambar 4. 21**Peta untuk menentuka harga  $S_s$

untuk daerah Surabaya didapatkan nilai  $S_s = 0,7$  g.



	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS <sup>b</sup>				

Dari data diatas diperoleh data-data sebagai berikut :

$$S_s = 0,7$$

$$S_1 = 0,3$$

$$F_a = 1,3 \text{ (Dengan cara interpolasi)}$$

$$F_v = 2,8$$

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (\text{SNI 03-1726-2012 Pers. 6.2-1})$$

$$= 1,3 \times 0,7$$

$$= 0,91$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (\text{SNI 03-1726-2012 Pers. 6.2-2})$$

$$= 2,8 \times 0,3$$

$$= 0,84$$

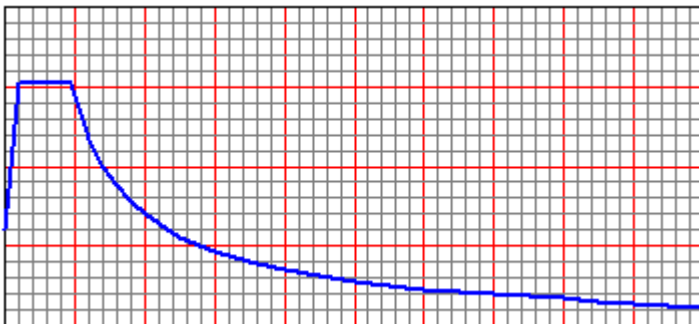
#### 4.3.5.2 Parameter Percepatan Respons Spektral

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,91 = 0,607$$

(SNI 03-1726-2012 Pers. 6.2-3)

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,84 = 0,56$$

(SNI 03-1726-2012 Pers. 6.2-4)



**Gambar 4. 43** Grafik Respon Spectrum Daerah Surabaya

Bangunan ini direncanakan akan dibangun di daerah kota Surabaya yang mempunyai parameter kecepatan respon spektral pada perioda 1 detik, redaman 5 persen sebesar  $S_{DS} = 0,607$  dan parameter percepatan respon spektral MCE pada perioda pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh situs  $S_{D1} = 0,56$ . Berdasarkan tabel 4.8 dan tabel 4.9 maka didapat kategori kota Surabaya mempunyai kategori resiko D.

**Tabel 4. 9** Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek

Nilai $S_{DS}$	Kategori risiko	
	I atau II atau II	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

**Tabel 4. 10** Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik

Nilai $S_{D1}$	Kategori risiko	
	I atau II atau II	IV



$S_{DI} < 0,067$	<b>A</b>	<b>A</b>
$0,067 \leq S_{DI} < 0,133$	<b>B</b>	<b>C</b>
$0,133 \leq S_{DI} < 0,20$	<b>C</b>	<b>D</b>
$0,20 \leq S_{DI}$	<b>D</b>	<b>D</b>

Sistem yang dipilih harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian. Berdasarkan tabel 9 SNI 1726 2012 didapatkan bahwa kriteria desain yang tepat sesuai dengan kategori desain seismik yang ada adalah dengan sistem rangka beton bertulang pemikul momen khusus yang menahan 100% gempa gaya gempa yang terjadi.

#### **4.3.6 Pembebanan Gempa Dinamis**

Perhitungan beban gempa pada struktur gedung laboratorium teknik industri ITS ditinjau dengan pengaruh gempa dinamik sesuai SNI 03-1726-2012. Analisisnya dilakukan berdasarkan analisis respon dinamik dengan parameter-parameter yang sudah ditentukan.

##### **4.3.6.1 Arah pembebanan**

Beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan terjadi dalam arah sembarang (tidak terduga) baik dalam arah x dan y secara bolak-balik dan periodikal. Untuk mensimulasikan arah pengaruh gempa rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa rencana dalam arah utama harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa yang arahnya tegak lurus dengan arah utama dengan efektifitas 30%.

- Gempa Respon Spektrum X :  
100% efektifitas untuk arah X dan 30% efektifitas arah Y
- Gempa Respon Spektrum Y :  
100% efektifitas untuk arah Y dan 30% efektifitas arah X

#### 4.3.6.2 Faktor Reduksi Gempa (R)

Gedung ini direncanakan dengan sistem rangka beton pracetak pemikul momen khusus. Berdasarkan tabel 9 SNI 03-1726-2012 didapatkan nilai faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ) = 5,5 nilai koefisien modifikasi respon ( $R$ ) = 7 dan nilai faktor kuat lebih sistem ( $\Omega$ ) = 3.

#### 4.3.6.3 Faktor Keutamaan (I)

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan  $I_e$ . Gedung ini direncanakan sebagai bangunan sekolah. Pada tabel 1 SNI 03-1726-2012 bangunan ini termasuk kategori II sehingga didapat nilai  $I = 1,5$ .

#### 4.3.7 Kontrol Desain

Setelah dilakukan pemodelan struktur 3 dimensi dengan program bantu SAP 2000, hasil analisis struktur harus dikontrol terhadap suatu batasan-batasan tertentu sesuai dengan peraturan SNI 03-1726-2012 untuk menentukan kelayakan sistem struktur tersebut. Adapun hal-hal yang harus dikontrol adalah sebagai berikut:

- Kontrol partisipasi massa.
- Kontrol periode getar struktur.
- Kontrol nilai akhir respon spektrum.
- Kontrol batas simpangan (*drift*)

Dari analisis tersebut juga diambil gaya dalam yang terjadi pada masing-masing elemen struktur untuk dilakukan pengecekan kapasitas penampang.

##### 4.3.7.1 Beban Gravitasi

Beban gravitasi dikontrol untuk mengecek kesesuaian pemodelan pada program bantu SAP2000 dengan desain bangunan gedung. Perhitungan beban mati masing – masing elemen struktur pada gedung ditunjukkan pada Tabel 4.9 berikut:

**Tabel 4. 11**Perhitungan Manual Beban Gravitasi

Beban Mati	Jenis Beban	Berat Sendiri		t (m)	Luas (m2)	Berat (kg)		
Lantai atap	Pelat atap	2400	kg/m3	0,15	803,52	289267,2		
	plafon	11	kg/m2		803,52	8838,72		
	tegel	24	kg/m2		0	0		
	spesi	21	kg/m2		803,52	16873,92		
	aspal	14	kg/m2		803,52	11249,28		
	penggantung	7	kg/m2		803,52	5624,64		
	duckting & plumbing	30	kg/m2		803,52	24105,6		
			L	b	h	jumlah	berat	
	BI 1	2400	kg/m3	7,2	0,4	0,6	31	128563,2
	BI 2	2400	kg/m3	4,8	0,4	0,6	16	44236,8
	BI 3	2400	kg/m3	3,6	0,4	0,6	19	39398,4
	BI 4	2400	kg/m3	2,4	0,4	0,6	3	4147,2
	BI 5	2400	kg/m3	1,8	0,4	0,6	4	4147,2
	BA 1	2400	kg/m3	3,6	0,2	0,3	39	20217,6
	BA 2	2400	kg/m3	4,8	0,2	0,3	36	24883,2
	Kolom 70/70	2400	kg/m3	1,9	0,7	0,7	45	100548
	dinding	250	kg/m2		0,15	0	0	
WD total						722101		

Beban Hidup	Jenis Beban	berat sendiri		faktor reduksi	Luas (m2)	Berat (kg)
	Atap datar, pelana dan lengkung	96	kg/m2	0,8	803,52	61710,34
	Beban hujan	20	kg/m2	0,8	803,52	12856,32
					WL total	74566,66

Berat total lantai Atap

WD + WL = 796667,6 kg

		WD +WL = 796667,6 kg						
Beban Mati	Beban	Sendiri		(m)			(m2)	(kg)
Lantai 9,8	Pelat atap	2400	kg/m3	0,15			803,52	289267,2
	plafon	11	kg/m2				803,52	8838,72
	tegel	24	kg/m2				803,52	19284,48
	spesi	21	kg/m2				803,52	16873,92
	aspal	14	kg/m2				0	0
	penggantung	7	kg/m2				803,52	5624,64
	duckting & plumbing	30	kg/m2				803,52	24105,6
				L	b	h	jumlah	berat
	BI 1	2400	kg/m3	7,2	0,4	0,6	31	128563,2
	BI 2	2400	kg/m3	4,8	0,4	0,6	16	44236,8
	BI 3	2400	kg/m3	3,6	0,4	0,6	19	39398,4
	BI 4	2400	kg/m3	2,4	0,4	0,6	3	4147,2
	BI 5	2400	kg/m3	1,8	0,4	0,6	4	4147,2
	BA 1	2400	kg/m3	3,6	0,2	0,3	39	20217,6
	BA 2	2400	kg/m3	4,8	0,2	0,3	36	24883,2
	Kolom 70/70	2400	kg/m3	3,8	0,7	0,7	45	201096
	dinding	250	kg/m2	0,15			366	13725
WD total							844409,2	

Beban Hidup	Jenis Beban	berat sendiri		faktor reduksi	Luas (m2)	Berat (kg)
	Lantai	400	kg/m2	0,8	803,52	257126,4
					WL total	257126,4

Berat total lantai 9,8

WD + WL = 1101536 kg

Beban Mati	Jenis Beban	Berat Sendiri		t (m)			Luas (m2)	Berat (kg)
Lantai 7	Pelat atap	2400	kg/m3	0,15			803,52	289267,2
	plafon	11	kg/m2				803,52	8838,72
	tegel	24	kg/m2				803,52	19284,48
	spesi	21	kg/m2				803,52	16873,92
	aspal	14	kg/m2				0	0
	penggantung	7	kg/m2				803,52	5624,64
	duckting & plumbing	30	kg/m2				803,52	24105,6
			L	b	h	jumlah	berat	
	BI 1	2400	kg/m3	7,2	0,4	0,6	31	128563,2
	BI 2	2400	kg/m3	4,8	0,4	0,6	16	44236,8
	BI 3	2400	kg/m3	3,6	0,4	0,6	19	39398,4
	BI 4	2400	kg/m3	2,4	0,4	0,6	3	4147,2
	BI 5	2400	kg/m3	1,8	0,4	0,6	4	4147,2
	BA 1	2400	kg/m3	3,6	0,2	0,3	39	20217,6
	BA 2	2400	kg/m3	4,8	0,2	0,3	36	24883,2
Kolom 70/70	2400	kg/m3	1,9	0,7	0,7	45	100548	
Kolom 80/80	2400	kg/m3	1,9	0,8	0,8	45	131328	
dinding	250	kg/m2	0,15			366	13725	
						WD total	875189,2	

Beban Hidup	Jenis Beban	berat sendiri		faktor reduksi	Luas (m <sup>2</sup> )	Berat (kg)
	Lantai	400	kg/m <sup>2</sup>	0,8	803,52	257126,4
					WL total	257126,4

Berat total lantai 7	
WD +WL =	1132316 kg

Beban Mati	Jenis Beban	Berat Sendiri		t (m)			Luas (m2)	Berat (kg)
Lantai 6,5	Pelat atap	2400	kg/m3	0,15			803,52	289267,2
	plafon	11	kg/m2				803,52	8838,72
	tegel	24	kg/m2				803,52	19284,48
	spesi	21	kg/m2				803,52	16873,92
	aspal	14	kg/m2				0	0
	penggantung	7	kg/m2				803,52	5624,64
	duckting & plumbing	30	kg/m2				803,52	24105,6
				L	b	h	jumlah	berat
	BI 1	2400	kg/m3	7,2	0,4	0,6	31	128563,2
	BI 2	2400	kg/m3	4,8	0,4	0,6	16	44236,8
	BI 3	2400	kg/m3	3,6	0,4	0,6	19	39398,4
	BI 4	2400	kg/m3	2,4	0,4	0,6	3	4147,2
	BI 5	2400	kg/m3	1,8	0,4	0,6	4	4147,2
	BA 1	2400	kg/m3	3,6	0,2	0,3	39	20217,6
	BA 2	2400	kg/m3	4,8	0,2	0,3	36	24883,2
Kolom 80/80	2400	kg/m3	3,8	0,8	0,8	45	262656	
dinding	250	kg/m2			0,15	366	13725	
WD total							905969,2	

Beban Hidup	Jenis Beban	berat sendiri	faktor reduksi	Luas (m2)	Berat (kg)
	Lantai	400	kg/m2	0,8	803,52
				WL total	257126,4

Berat total lantai 6,5  
WD +WL = 1163096 kg

Beban Mati	Jenis Beban	Berat Sendiri		t (m)	Luas (m <sup>2</sup> )	Berat (kg)		
Lantai 4	Pelat atap	2400	kg/m <sup>3</sup>	0,15	803,52	289267,2		
	plafon	11	kg/m <sup>2</sup>		803,52	8838,72		
	tegel	24	kg/m <sup>2</sup>		803,52	19284,48		
	spesi	21	kg/m <sup>2</sup>		803,52	16873,92		
	aspal	14	kg/m <sup>2</sup>		0	0		
	penggantung	7	kg/m <sup>2</sup>		803,52	5624,64		
	duckting & plumbing	30	kg/m <sup>2</sup>		803,52	24105,6		
				L	b	h	jumlah berat	
	BI 1	2400	kg/m <sup>3</sup>	7,2	0,4	0,6	31	128563,2
	BI 2	2400	kg/m <sup>3</sup>	4,8	0,4	0,6	16	44236,8
	BI 3	2400	kg/m <sup>3</sup>	3,6	0,4	0,6	19	39398,4
	BI 4	2400	kg/m <sup>3</sup>	2,4	0,4	0,6	3	4147,2
	BI 5	2400	kg/m <sup>3</sup>	1,8	0,4	0,6	4	4147,2
	BA 1	2400	kg/m <sup>3</sup>	3,6	0,2	0,3	39	20217,6
	BA 2	2400	kg/m <sup>3</sup>	4,8	0,2	0,3	36	24883,2
	Kolom 90/90	2400	kg/m <sup>3</sup>	1,9	0,9	0,9	45	16621,2
	Kolom 80/80	2400	kg/m <sup>3</sup>	1,9	0,8	0,8	45	131328
dinding	250	kg/m <sup>2</sup>		0,15	366	13725		
WD total						940853,2		

Beban Hidup	Jenis Beban	berat sendiri		faktor reduksi	Luas (m <sup>2</sup> )	Berat (kg)
	Lantai	400	kg/m <sup>2</sup>	0,8	803,52	257126,4
WL total						257126,4

Berat total lantai 4  
WD +WL = 1197980 kg

Beban Mati	Jenis Beban	Berat Sendiri		t (m)		Luas (m2)	Berat (kg)	
Lantai 3,2,1	Pelat atap	2400	kg/m3	0,15		803,52	289267,2	
	plafon	11	kg/m2			803,52	8838,72	
	tegel	24	kg/m2			803,52	19284,48	
	spesi	21	kg/m2			803,52	16873,92	
	aspal	14	kg/m2			0	0	
	penggantung	7	kg/m2			803,52	5624,64	
	duckting & plumbing	30	kg/m2			803,52	24105,6	
			L	b	h	jumlah	berat	
	BI 1	2400	kg/m3	7,2	0,4	0,6	31	128563,2
	BI 2	2400	kg/m3	4,8	0,4	0,6	16	44236,8
	BI 3	2400	kg/m3	3,6	0,4	0,6	19	39398,4
	BI 4	2400	kg/m3	2,4	0,4	0,6	3	4147,2
	BI 5	2400	kg/m3	1,8	0,4	0,6	4	4147,2
	BA 1	2400	kg/m3	3,6	0,2	0,3	39	20217,6
	BA 2	2400	kg/m3	4,8	0,2	0,3	36	24883,2
	Kolom 90/90	2400	kg/m3	3,8	0,9	0,9	45	332424
dinding	250	kg/m2	0,15		366	13725		
WD total						975737,2		

Beban Hidup	Jenis Beban	berat sendiri		faktor reduksi	Luas (m <sup>2</sup> )	Berat (kg)
	Lantai	400	kg/m <sup>2</sup>	0,8	803,52	257126,4
WL total						257126,4

Berat total lantai 3,2,1  
WD +WL = 1232864 kg

Berat total struktur = Watap + W9 +W8 + W7 + W6 + W5  
+ W4 + W3 + W2 + W1 = 11354816 kg.

Beban yang terhitung pada pemodelan dalam SAP2000 yaitu sebagai berikut:

DL + LL (SAP2000) = 11793629 kg

Selisih 3,72% dengan perhitungan manual. Dengan demikian pemodelan struktur dianggap sesuai.

#### 4.3.7.2 Kontrol Partisipasi Massa

Menurut SNI 1726 ps 7.9.1, bahwa perhitungan respon dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90% dari massa aktual dari masing-masing arah

Dalam hal ini digunakan bantuan program SAP 2000 untuk mengeluarkan hasil partisipasi massa seperti pada Tabel 4.10 berikut:

**Tabel 4. 12** Modal rasio partisipasi massa

OutputCase	StepNum	Period	SumUX	SumUY
Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	1	1,178	0,735	0,000178
MODAL	2	0,984	0,743	0,487
MODAL	3	0,931	0,753	0,755
MODAL	4	0,382	0,862	0,755
MODAL	5	0,325	0,864	0,827
MODAL	6	0,308	0,867	0,876
MODAL	7	0,206	0,912	0,904
MODAL	8	0,178	0,913	0,922
MODAL	9	0,168	0,914	0,922
MODAL	10	0,132	0,943	0,948

Dari tabel di atas didapat partisipasi massa arah X sebesar 94,3% pada moda ke 10 dan partisipasi massa arah Y sebesar 94,8% pada moda ke 10. Maka dapat disimpulkan analisis struktur yang sudah dilakukan telah memenuhi syarat yang terdapat pada

SNI-03-1726-2012 pasal 7.9.1 yaitu partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90%.

#### 4.3.7.3 Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental

Untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental ( $T$ ) dari struktur gedung harus dibatasi. Berdasarkan SNI 03-1726-2012, periode fundamental struktur harus ditentukan dari:

$$T = C_t \times h_n^x$$

Koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditentukan dari Tabel 6.5 SNI 03-1726-2012.

**Tabel 4. 13**Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $x$

TipeStruktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka pemikul 100 persen gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikulmomen	0,0724 <sup>a</sup>	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 <sup>a</sup>	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 <sup>a</sup>	0,75

**Tabel 4.14**Koefisien untuk Batas Atas dari Periode yang di hitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, $S_{D1}$	Koefisien $C_u$
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

$$T_x = 0,0466 (38 \text{ m})^{0,9} = 1,23 \text{ s}$$

$$T_y = 0,0466 (38 \text{ m})^{0,9} = 1,23 \text{ s}$$

Dengan  $S_{D1} = 0,56$  maka didapatkan koefisien  $C_u = 1,4$

$$T = T_a \times C_u = 1,23 \times 1,4 = 1,723 \text{ s}$$

**Tabel 4. 15** Modal Periode dan Frekuensi Struktur

OutputCase	StepType	StepNum	Period
Text	Text	Unitless	Sec
MODAL	Mode	1	1,178
MODAL	Mode	2	0,9875
MODAL	Mode	3	0,9346
MODAL	Mode	4	0,47847
MODAL	Mode	5	0,3905
MODAL	Mode	6	0,3266
MODAL	Mode	7	0,3094
MODAL	Mode	8	0,2102
MODAL	Mode	9	0,1789
MODAL	Mode	10	0,1692

T terbesar yang didapat dari analisis SAP = 1,178s, maka:

$$1,178 < T_a \cdot C_u$$

$$1,178 < 1,23 \times 1,4$$

$$1,178 < 1,723 \text{ OK}$$

#### 4.3.7.4 Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum

Berdasarkan SNI 03-1726-2012, nilai akhir respon dinamik struktur gedung dalam arah yang ditetapkan tidak boleh kurang dari 85% nilai respons statik. Rumus gaya geser statik adalah:

$$V = C_s \times W \quad (\text{SNI 03-1726-2012 Pasal 7.8.1})$$

Dimana:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left( \frac{R}{I_e} \right)} = \frac{0,607}{\left( \frac{7}{1,5} \right)} = 0,113$$



Dan nilai  $C_s$  tidak lebih dari

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)}$$

$$C_s = \frac{0,56}{1,723 \times \left(\frac{7}{1,5}\right)} = 0,0609$$

Dan nilai  $C_s$  tidak kurang dari

$$C_s = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I}\right)}$$

$$C_s = \frac{0,5 \times 0,3}{\left(\frac{7}{1,5}\right)} = 0,032$$

Maka nilai  $C_s$  diambil 0,0609

Dari analisis yang sudah dilakukan, didapatkan nilai berat total struktur gedung laboratorium teknik industri ITS adalah:

**Tabel 4. 26**Reaksi Dasar Struktur

OutputCase	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Kgf	Kgf	Kgf
1.4D	7,003E-09	-3,512E-08	14197493,27
1.2D + 1.6L	7,76E-09	-3,998E-08	14767522,8
1.2D + 1.0L + 1.0EX	112,08	39,36	13707200,26
1.2D + 1.0L + 1.0EX	-112,08	-39,36	13707199,62
1.0D + 1.0L	6,101E-09	-3,126E-08	11793629
1.2D + 1.0L + 1.0EY	33,93	130,31	13707200,98
1.2D + 1.0L + 1.0EY	-33,93	-130,31	13707198,91
0.9D + 1.0EX	112,08	39,36	9126960,28
0.9D + 1.0EX	-112,08	-39,36	9126959,64
0.9D + 1.0EY	5,6E-09	-2,875E-08	10664879,96

Dari tabel di atas didapat berat total struktur adalah 14629951,94 kg. Maka:

$$\begin{aligned} V_{statik} &= C_s \times W \\ &= 0,0609 \times 14767522,8 \\ &= 899342,138 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dari hasil analisis menggunakan program SAP 2000 didapatkan nilai gaya geser dasar (base shear) sebagai berikut:

**Tabel 4. 36** Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa

Beban Gempa	GlobalFX	GlobalFY
Text	Kgf	Kgf
GEMPA X	696927,89	247311,68
GEMPA Y	215058,52	806761,81

Kontrol:

- Untuk gempa arah X:

$$\begin{aligned} V_{dinamik} &\geq 85\% V_{Statik} \\ 696927,89 &\geq 85\% \times 899342,138 \\ 696927,89 &> 764440,82 \text{ kg (Not OK)} \end{aligned}$$

- Untuk gempa arah Y:

$$\begin{aligned} V_{dinamik} &\geq 85\% V_{Statik} \\ 806761,81 &\geq 85\% \times 899342,138 \\ 806761,81 &> 764440,82 \text{ kg (OK)} \end{aligned}$$

Dari kontrol di atas, analisis struktur gedung laboratorium teknik industri ITS untuk gempa arah X masih belum memenuhi syarat nilai akhir respon. Pada Pasal 11.1.4 SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.4.2 dijelaskan apabila gaya geser dasar hasil analisis

kurang dari 85%, maka harus diperbesar dengan faktor skala

$$0,85 \times \frac{C_s \times W}{V}$$

- Untuk gempa arah X:

$$0,85 \times \frac{0,0609 \times 14767522,8}{696927,89} = 1,29$$

Setelah dikali faktor skala di atas didapatkan gaya geser dasar sebagai berikut:

**Tabel 4. 47** Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa Setelah Dikalikan dengan Faktor Skala

Beban Gempa	GlobalFX	GlobalFY
Text	Kgf	Kgf
GEMPA X	899036,978	270179,622
GEMPA Y	270179,622	1040722,735

Kontrol:

- Untuk gempa arah X:

$$V_{dinamik} \geq 85\% V_{Statik}$$

$$899036,978 \geq 85\% \times 899342,138$$

$$899036,978 > 764440,82 \text{ kg (OK)}$$

- Untuk gempa arah Y:

$$V_{dinamik} \geq 85\% V_{Statik}$$

$$1040722,735 \geq 85\% \times 890964,073$$

$$1040722,735 > 757319 \text{ kg (OK)}$$

Dari kontrol di atas dapat disimpulkan bahwa analisis struktur gedung laboratorium teknik industri ITS sudah memenuhi persyaratan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.8.

#### 4.3.7.5 Kontrol Batas Simpangan Antar Lantai (*Drift*)

Pembatasan simpangan antar lantai suatu struktur bertujuan untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni.

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.3 untuk memenuhi persyaratan simpangan digunakan rumus:

$$\Delta_i \leq \Delta_a$$

Dimana:

$\Delta_i$  = Simpangan yang terjadi

$\Delta_a$  = Simpangan ijin antar lantai

Perhitungan  $\Delta_i$  untuk tingkat 1:

$$\Delta_1 = \frac{C_d \times \delta_{e1}}{I}$$

Perhitungan  $\Delta_i$  untuk tingkat 2:

$$\Delta_2 = \delta_{e2} - \delta_{e1} \times \frac{C_d}{I}$$

Dimana:

$\delta_{e1}$  = Simpangan yang dihitung akibat beban gempa tingkat 1

$\delta_{e2}$  = Simpangan yang dihitung akibat beban gempa tingkat 2

$C_d$  = Faktor pembesaran defleksi

$I$  = Faktor keutamaan gedung

Untuk sistem rangka pemikul momen khusus yang 100 persen gaya gempa yang ditetapkan diterima oleh struktur rangka gedung, dari tabel 9 SNI 03-1726-2012 didapatkan nilai  $C_d = 5,5$  dan dari tabel 2 SNI 03-1726-2012 didapat nilai  $I = 1,5$ . Dari tabel 16 SNI 03-1726-2012 untuk sistem struktur yang lain simpangan antar tingkat ijinnya adalah:

$$\Delta_a = 0,02 \times h_{sx}$$

Dimana:

$h_{sx}$  = Tinggi tingkat dibawah tingkat x

- Untuk tinggi tingkat 3,8 m, simpangan ijinnya adalah:

$$\Delta_a = 0,01 \times 3,8$$

$$= 0,038 \text{ m}$$

$$= 38 \text{ mm}$$

Dari analisis akibat beban lateral (beban gempa) dengan program SAP 2000, diperoleh nilai simpangan yang terjadi pada struktur yaitu sebagai berikut:

**Tabel 4. 58**Simpangan Antar Lantai Yang Terjadi Akibat Beban

Lantai	Tinggi Lantai	Gempa Arah X		Gempa Arah Y	
	Zi	Simpangan		Simpangan	
	(m)	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)
Atap	38	53,180	12,782	17,768	40,104
9	34,2	51,0052	12,181	17,054	38,179
8	30,4	47,204	10,593	16,440	33,874
7	26,6	42,503	9,473	14,813	30,233
6	22,8	37,059	8,240	12,932	26,244
5	19	30,785	6,842	10,758	21,734
4	15,2	23,729	5,293	8,310	16,763
3	11,4	16,435	3,727	5,781	11,768
2	7,6	9,188	2,144	3,253	6,750
1	3,8	2,980	0,731	1,065	2,295
Dasar	0	0	0	0	0

**Tabel 4. 69**Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah X

Lantai	Tinggi Lantai	Gempa Arah X				Ket
	Zi	Simpangan Arah X				
	(m)	$\Delta$ (mm)	$\delta_{ei}$ (mm)	$\Delta_i$ (mm)	$\Delta_a$ (mm)	

Atap	38	53,180	2,175	7,250	38	OK
9	34,2	51,0052	3,801	12,670	38	OK
8	30,4	47,204	4,700	15,667	38	OK
7	26,6	42,503	5,444	18,148	38	OK
6	22,8	37,059	6,274	20,914	38	OK
5	19	30,785	7,056	23,519	38	OK
4	15,2	23,729	7,294	24,313	38	OK
3	11,4	16,435	7,247	24,158	38	OK
2	7,6	9,188	6,208	20,695	38	OK
1	3,8	2,980	2,980	9,934	38	OK

**Tabel 4. 20**Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah Y

Lantai	Tinggi Lantai	Gempa Arah X				Ket
	Zi	Simpangan Arah Y				
	(m)	$\Delta$ (mm)	$\delta e_i$ (mm)	$\Delta i$ (mm)	$\Delta a$ (mm)	
Atap	38	12,782	0,601	2,003	38	OK
9	34,2	12,181	1,558	5,293	38	OK
8	30,4	10,593	1,121	3,735	38	OK
7	26,6	9,473	1,232	4,107	38	OK
6	22,8	8,240	1,398	4,661	38	OK
5	19	6,842	1,549	5,163	38	OK
4	15,2	5,293	1,566	5,220	38	OK
3	11,4	3,727	1,583	5,276	38	OK
2	7,6	2,144	1,414	4,712	38	OK
1	3,8	0,731	0,731	2,436	38	OK

**Tabel 4. 27**Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah Y

Lantai	Tinggi Lantai	Gempa Arah Y				Ket
	Zi	Simpangan Arah X				
	(m)	$\Delta$ (mm)	$\delta_{ei}$ (mm)	$\Delta_i$ (mm)	$\Delta_a$ (mm)	
Atap	38	17,768	0,714	2,460	38	OK
9	34,2	17,054	0,614	3,933	38	OK
8	30,4	16,440	1,627	5,424	38	OK
7	26,6	14,813	1,881	6,270	38	OK
6	22,8	12,932	2,173	7,244	38	OK
5	19	10,758	2,448	8,160	38	OK
4	15,2	8,310	2,529	8,432	38	OK
3	11,4	5,781	2,527	8,425	38	OK
2	7,6	3,253	2,188	7,295	38	OK
1	3,8	1,065	1,065	3,550	38	OK

**Tabel 4. 22**Kontrol Simpangan Arah Y Akibat Beban Gempa Arah Y

Lantai	Tinggi Lantai	Gempa Arah Y				Ket
	Zi	Simpangan Arah Y				
	(m)	$\Delta$ (mm)	$\delta_{ei}$ (mm)	$\Delta_i$ (mm)	$\Delta_a$ (mm)	
Atap	38	40,104	1,925	6,417	38	OK
9	34,2	38,179	4,305	14,35	38	OK
8	30,4	33,874	3,641	12,136	38	OK
7	26,6	30,233	3,989	13,297	38	OK
6	22,8	26,244	4,510	15,035	38	OK
5	19	21,734	4,970	16,568	38	OK

4	15,2	16,763	4,995	16,650	38	OK
3	11,4	11,768	5,018	16,727	38	OK
2	7,6	6,750	4,454	14,848	38	OK
1	3,8	2,295	2,295	7,651	38	OK

Dari hasil kontrol tabel di atas maka analisis struktur gedung laboratorium teknik industri ITS memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.3 dan Pasal 7.12.1.

## 4.4 Perencanaan Struktur Utama

### 4.4.1 Umum

Struktur utama merupakan suatu komponen utama dimana kekakuannya mempengaruhi perilaku gedung tersebut. Struktur utama memiliki fungsi untuk menahan pembebanan yang berasal dari beban gravitasi dan beban lateral berupa beban gempa maupun beban angin. Komponen utama terdiri dari balok induk, dan kolom. Pada bab ini akan dibahas mengenai kekuatan struktur utama mencakup kebutuhan tulangan yang diperlukan pada komponen tersebut.

### 4.4.2 Perencanaan Balok Induk

Balok induk merupakan struktur utama yang memikul beban struktur sekunder dan meneruskan beban tersebut ke kolom. Didalam preliminary desain gedung laboratorium teknik industri ITS direncanakan dimensi balok induk dengan menggunakan sistem pracetak.

Maka dari itu, penulangan lentur balok induk dihitung dalam dua kondisi, yaitu sebelum komposit dan setelah komposit. Dengan adanya dua kondisi tersebut nantinya akan dipilih tulangan yang lebih kritis untuk digunakan pada penulangan balok induk.

#### 4.4.2.1 Data Perencanaan

Data perencanaan yang diperlukan meliputi:

- Mutu beton ( $f_c'$ ) = 25 MPa
- Mutu baja ( $f_y$ ) = 400 MPa



- Dimensi balok = 40/60 cm
- Diameter tulangan longitudinal = 19 mm
- Diameter tulangan sengkang = 10 mm

#### **4.4.2.2 Penulangan Lentur Balok Induk Melintang Sebelum Komposit**

Balok pracetak pada saat sebelum komposit dihitung sebagai balok sederhana pada tumpuan dua sendi. Pembebanan pada balok induk sebelum komposit konsepnya sama dengan pembebanan balok anak sesudah komposit yang telah dihitung sebelumnya. Perhitungan untuk pembebanan merata pada balok induk menggunakan konsep menggunakan konsep tributari area. Pada penulangan balok induk melintang perhitungan balok induk dengan panjang bentang 7,2 m dijadikan sebagai contoh perhitungan.

Berikut ini merupakan beban merata ( $q$ ) yang terjadi pada balok :

##### **Beban mati**

$$\text{Berat sendiri pelat pracetak} = 0,09 \times 2400 = 216 \text{ kg/m}^2$$

##### **Beban hidup**

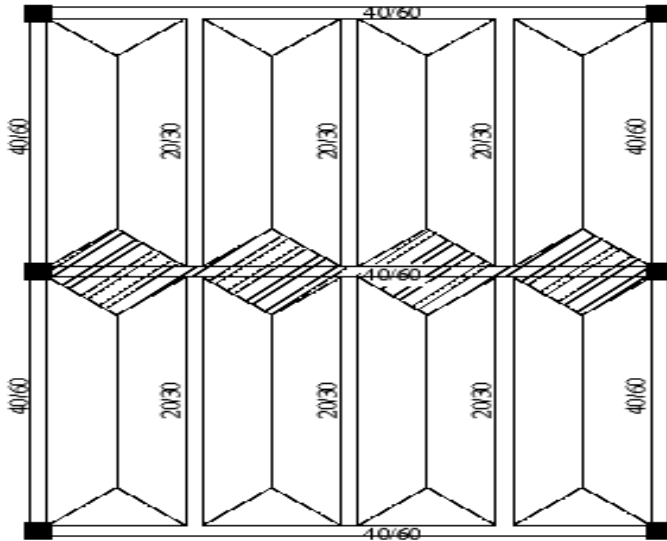
$$\text{Beban pekerja} = 200 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Dimensi balok induk sebelum komposit} = 40/45$$

$$\text{Bentang balok induk} = 7,2 \text{ meter}$$

##### **a) Pelat dalam kondisi sebelum terdapat overtopping**

Pada kondisi komposit, beban yang dihitung hanyalah menerima beban mati dan beban hidup dari pelat pracetak, balok anak, serta berat dari balok induk itu sendiri.



**Gambar 4. 54**Detail pembalokan

### **Beban pada balok anak**

$$L_x = 180 - (20/2 + 20/2) = 160 \text{ cm}$$

$$L_y = 480 - (40/2 + 40/2) = 440 \text{ cm}$$

- **Beban mati**

$$\text{Berat balok anak} = 0,2 \times 0,3 \times 2400 \times 4,8 = 691,2 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat pelat yang dipikul balok anak} = 216 \times 2 \times 0,5 \times (2,8 + 4,4) \times 0,8 = 1244,16 \text{ kg}$$

$$DL = 691,2 + 1244,16 = 1935,36 \text{ kg}$$

$$P_u = 1,4DL$$

$$= 1,4 \times 1935,36$$

$$= 2709,504 \text{ kg}$$

Beban ini menjadi beban titik di balok induk.

- **Beban hidup**

$$LL = 200 \times 2 \times 0,5 \times (2,8 + 4,4) \times 0,8 = 1152 \text{ kg}$$

$$P_u = 1,2 D + 1,6 L$$

$$= 1,2 (2709,504) + 1,6 (1152) = 5094,605 \text{ kg}$$

### **Beban pada balok induk**

Beban yang terjadi pada balok induk adalah berat sendiri balok induk dan berat ekuivalen pelat.

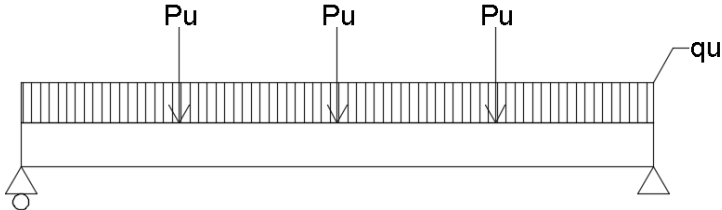
$$\text{Berat balok induk} = 0,4 \times 0,45 \times 2400 = 432 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat ekuivalen pelat} = 216 \times 8 \times 0,5 \times 1,6 \times 0,8 / 7,2 = 153,6 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Total beban mati (qDL)} &= \text{berat balok induk} + \text{berat ekuivalen pelat} \\ &= 432 \text{ kg/m} + 153,6 \text{ kg/m} \\ &= 585,6 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2D \\ &= 1,2 \times 585,6 \\ &= 702,72 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dapat digambarkan pembebanan pada balok induk sebelum komposit dalam gambar 4.25 berikut:



**Gambar 4. 65** Pembebanan balok induk sebelum komposit

$$\begin{aligned} M_u &= \left( \frac{1}{8} \times Q_u \times L^2 \right) + \left( \frac{1}{2} \times P_u \times L \right) \\ &= \left( \frac{1}{8} \times 702,72 \times 7,2^2 \right) + \left( \frac{1}{2} \times 5094,605 \times 7,2 \right) \\ &= 22894,203 \text{ kgm} \end{aligned}$$

- b) Pelat dalam kondisi terdapat overtopping, tidak terdapat beban kerja**  
**Beban mati**

Pelat:

$$\text{Berat sendiri pelat pracetak} = 0,09 \times 2400 = 216 \text{ kg/m}^2$$

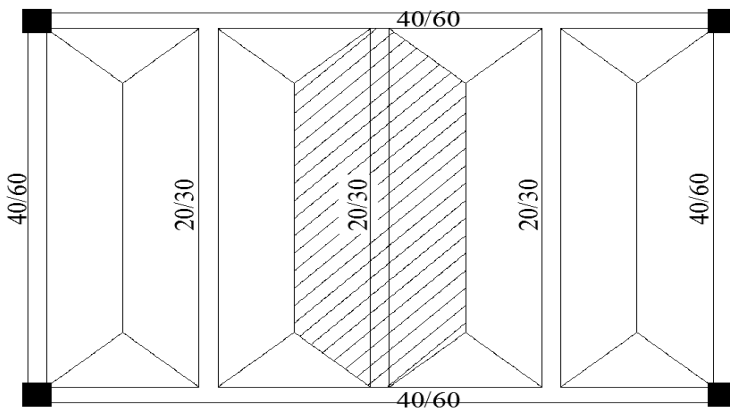
$$\begin{aligned} \text{Overtopping} &= 0,06 \times 2400 = 144 \text{ kg/m}^2 + \\ &= 360 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Dimensi balok induk sebelum komposit} = 40/45$$

$$\text{Bentang balok induk} = 7,2 \text{ meter}$$

Pada kondisi sebelum komposit, balok hanya menerima beban mati dari pelat pracetak, overtopping dan balok anak serta berat balok induk sendiri.

### **Beban pada balok anak**



- **Beban mati**

$$\text{Berat balok anak} = 0,2 \times 0,3 \times 2400 \times 4,8 = 691,2 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat pelat yang dipikul balok anak} &= 360 \times 2 \times 0,5 \times \\ (2,8, +4,4) \times 0,8 &= 2073,6 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{DL} = 691,2 + 2073,6 = 2764,8 \text{ kg}$$

$$\text{Pu} = 1,4 \text{DL}$$

$$= 1,4 \times 2764,8 \text{ kg}$$

$$= 3870,72 \text{ kg}$$

Beban ini menjadi beban titik di balok induk.

### **Beban pada balok induk**

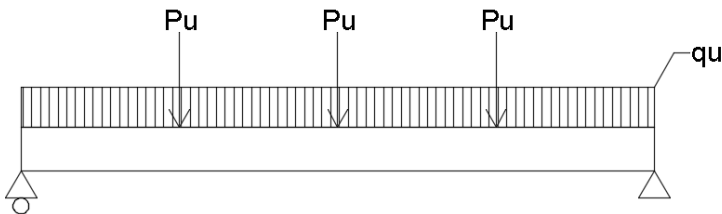
Beban yang terjadi pada balok induk adalah berat sendiri balok induk dan berat ekuivalen pelat.

$$\text{Berat balok induk} = 0,4 \times 0,6 \times 2400 = 576 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat ekuivalen pelat} = 360 \times 8 \times 0,5 \times 1,6 \times 0,8 / 7,2 = 256 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Total beban mati (qDL)} &= \text{berat balok induk} + \text{berat ekuivalen pelat} \\ &= 576 \text{ kg/m} + 256 \text{ kg/m} \\ &= 832 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_u &= 1,4qDL \\ &= 1,4(832) \\ &= 1164,8 \text{ kg/m} \end{aligned}$$



**Gambar 4. 76** Pembebanan balok induk sebelum komposit

$$\begin{aligned} M_u &= \left( \frac{1}{8} \times Q_u \times L^2 \right) + \left( \frac{1}{4} \times P_u \times L \right) \\ &= \left( \frac{1}{8} \times 1164,8 \times 7,2^2 \right) + \left( \frac{1}{2} \times 3870,72 \times 7,2 \right) \\ &= 21482,496 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Jadi, momen ( $M_u$ ) yang akan dipakai dalam perhitungantulangan lentur balok induk sebelum komposit adalah 22894,2 kgm.

### **c) Perhitungan Tulangan Lentur**

- **Data Perencanaan**

Dimensi Balok Induk	= 40/60
Bentang Balok Induk	= 7,2 m
Diameter Tulangan utama	= 19 mm
Diameter Sengkang	= 10 mm
$\rho_{\max}$	= 0,021
$\rho_{\min}$	= 0,0035
b = 400 mm	
dx = 450 – 40 – 10 – (0,5 × 19)	= 390,5 mm
Mu = 22894,2kgm	

Karena perletakan sebelum komposit dianggap sendi maka momen tumpuannya adalah nol, namun tetap diberi penulangan tumpuan sebesar setengah dari penulangan lapangan.

$$R_n = \frac{M_n}{0,8 \times b \times dx^2} = \frac{228940000}{0,8 \times 400 \times 390,5^2} = 4,691$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,823$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,823} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,823 \times 4,691}{400}} \right) = 0,013 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,013 > \rho_{\min} = 0,0035$  dipakai  $\rho_{\min}$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,013 \times 400 \times 390,5 = 2097,11 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

➤ Digunakan **8 D19 mm** ( $A_s = 2267,08 \text{ mm}^2$ )

#### 4.4.2.3 Penulangan Lentur Balok Induk Melintang Interior Setelah Komposit

Perencanaan balok induk didesain dengan menggunakantulangan rangkap dimana untuk merencanakan tulangan lentur diperhitungkan gaya gempa arah bolak balik (kiri

dan kanan) yang akan menghasilkan momen positif dan negatif pada tumpuan. Hasil perencanaan tulangan yang nantinya akan digunakan merupakan kombinasi dari perencanaan bertahap tersebut dengan mengambil jumlah tulangan yang terbesar.

Data - data yang akan digunakan dalam merencanakan balok induk pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

Mutu beton ( $f'c$ )	= 25 MPa
Mutu baja ( $f_y$ ) tulangan	= 400 MPa
Dimensi balok induk	= 40/60 cm
Panjang balok induk	= 7,2 m
Tebal <i>decking</i>	= 40 mm
Diameter tulangan utama	= 19 mm
Diameter sengkang	= 10 mm
$b$	= 400 mm
$d = 450 - 40 - 10 - (0,5 \times 19)$	= 390,5 mm
$d' = 40 + 10 + (0,5 \times 19)$	= 59,5 mm

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(25-28)}{7} \geq 0,65 = 0,871$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 0,871 \times 25}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0277$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,0277 = 0,0208$$

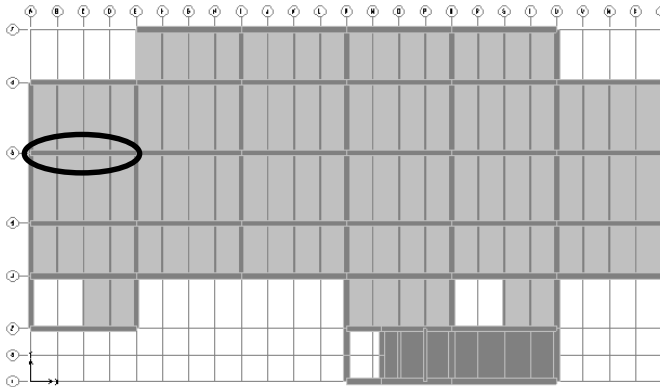
$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y}$$

$$= \frac{0,25 \times \sqrt{25}}{400} = 0,003125$$

$\rho_{\min}$  dipilih yang paling besar yaitu 0,0035

Dari analisa SAP2000 didapat nilai momen sebagai berikut:



**Gambar 4. 87** Denah pembalokan

M tumpuan negatif	= -234495491 Nmm
M tumpuan positif	= + 47936985,7 Nmm
M lapangan	= +103350771,3 Nmm
Geser maksimum	= 136926,14 N

**a. Perhitungan balok T beam**

• Lebar efektif

$$be_1 = \frac{1}{4} \times L_b = \frac{1}{4} \times 720 = 180 \text{ cm}$$

$$be_2 = 8 \times t_p = 8 \times 15 = 120 \text{ cm}$$

$$be_3 = \frac{1}{2} \times b = \frac{1}{2} \times 400 = 200 \text{ cm}$$

**b. Penulangan Tumpuan (balok dianggap persegi)**

**b.1. Tulangan negatif tumpuan**

Direncanakan menggunakan tulangan D19

$$M_u^{(-)} = 234495491 \text{ Nmm}$$

Pakai jumlah tulangan tarik,  $n = 5$  buah ( $A_s = 1416,925 \text{ mm}^2$ )

Pakai jumlah tulangan tekan,  $n' = 3$  buah ( $A_s' = 850,155 \text{ mm}^2$ )

$$d = 600 - 40 - 10 - (0,5 \times 19) = 540,5 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 13 + (0,5 \times 22) = 59,5 \text{ mm}$$



$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(25-28)}{7} \geq 0,65 = 0,871$$

▪ **Analisa tulangan rangkap**

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{1416,925}{400 \times 540,5} = 0,00655$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b_w \times d} = \frac{850,155}{400 \times 540,5} = 0,00393$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y}$$

$$0,00262 \geq \frac{0,85 \times 25 \times 0,871 \times 59,5}{400 \times 540,5} \times \frac{600}{600 - 400}$$

$$0,0024 \leq 0,0152 \text{ (Tulangan tekan belum leleh)}$$

$$\text{Maka : } A_s f_y = 0,85 f_c' \beta_1 c \cdot b + A_s' \left[ 600 \left( \frac{c - d'}{c} \right) - 0,85 f_c' \right]$$

Dengan penyelesaian persamaan kuadrat didapat  $c = 79 \text{ mm}$

$$a = \beta_1 \times c = 0,871 \times 79 = 68,81 \text{ mm}$$

$$f_s' = 600 \left( \frac{c - d'}{c} \right) \leq f_y$$

$$f_s' = 600 \left( \frac{79 - 59,5}{79} \right) \leq 400$$

$$f_s' = 148,1 < 400 \text{ MPa (tulangan tekan dalam kondisi tarik)}$$

Maka diambil  $f_s' = 148,1$

$$M_n = A_s \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) + A_s' \times f_s' \times (d - d')$$

$$= 1416,93 \times 400 \times \left( 540,5 - \frac{68,81}{2} \right) + 850,155 \times 148,1 \times (540,5 - 59,5)$$

$$= 347401791 \text{ Nmm}$$

$$\phi = 0,75 + 0,15[(1/(c/d)) - (5/3)] > 0,9$$

$$\phi = 1,52 \rightarrow \phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= 0,9 \times 347401791 \text{ Nmm} \\ &= 312661612 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$312661612 > 234495491 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Maka tulangan diatas kuat menahan beban ultimate balok.

## b.2. Tulangan positif tumpuan

Direncanakan menggunakan tulangan D19

$$M_u^{(+)} = 47936985,7 \text{ Nmm}$$

Pakai jumlah tulangan tarik, n = 5 buah ( $A_s = 1133,54 \text{ mm}^2$ )

Pakai jumlah tulangan tekan, n' = 3 buah ( $A_s' = 1700,31 \text{ mm}^2$ )

$$d = 600 - 40 - 10 - (0,5 \times 19) = 540,5 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 13 + (0,5 \times 22) = 59,5 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(25-28)}{7} \geq 0,65 = 0,871$$

### ▪ Analisa tulangan rangkap

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{1416,925}{400 \times 540,5} = 0,00655$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b_w \times d} = \frac{850,155}{400 \times 540,5} = 0,00393$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y}$$

$$0,00262 \geq \frac{0,85 \times 25 \times 0,871 \times 59,5}{400 \times 540,5} \times \frac{600}{600 - 400}$$

$$0,0024 \leq 0,0152 \text{ (Tulangan tekan belum leleh)}$$

$$\text{Maka : } A_s f_y = 0,85 f_c' \beta_1 c \cdot b + A_s' \left[ 600 \left( \frac{c - d'}{c} \right) - 0,85 f_c' \right]$$

Dengan penyelesaian persamaan kuadrat didapat  $c = 79 \text{ mm}$

$$a = \beta_1 \times c = 0,871 \times 79 = 68,81 \text{ mm}$$

$$f'_s = 600 \left( \frac{c - d'}{c} \right) \leq f_y$$

$$f'_s = 600 \left( \frac{79 - 59,5}{79} \right) \leq 400$$

$$f'_s = 148,1 < 400 \text{ MPa (tulangan tekan dalam kondisi tarik)}$$

Maka diambil  $f'_s = 148,1$

$$M_n = A_s \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) + A'_s \times f'_s \times (d - d')$$

$$= 1416,93 \times 400 \times \left( 540,5 - \frac{68,81}{2} \right) + 850,155 \times 148,1 \times (540,5 - 59,5)$$

$$= 347401791 \text{ Nmm}$$

$$\phi = 0,75 + 0,15 \left[ \left( 1 / (c / d) \right) - (5 / 3) \right] > 0,9$$

$$\phi = 1,52 \rightarrow \phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 347401791 \text{ Nmm} \\ &= 312661612 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$312661612 > 47936985,7 \text{ Nmm (OK)}$$

Maka tulangan diatas kuat menahan beban ultimate balok.

### c. Penulangan Lapangan (balok dianggap balok persegi)

Penulangan lentur lapangan didasarkan pada nilai momen yang terjadi di daerah lapangan. Besar momen lapangan yang terjadi di bagian balok melintang interior ialah sebesar  $M_u = 103088792,9 \text{ Nmm}$ .

Sebelum kita lakukan analisa desain perencanaan untuk tulangan lapangan perlu dilakukan cek apakah balok pada daerah lapangan tergolong balok T atau bukan dengan perumusan sebagai berikut:

Tulangan lapangan bawah

$$be_1 = \frac{1}{4} \times Lb = \frac{1}{4} \times 720 = 180 \text{ cm}$$

$$be_2 = b_w + 16t = 40 + 16 \times 15 = 280 \text{ cm}$$

$$be_3 = \frac{1}{2} \times (Lb - b) = \frac{1}{2} \times (720 - 40) = 340 \text{ cm}$$

$$b = be = 180 \text{ cm}$$

▪ **Tulangan Lapangan**

Direncanakan menggunakan tulangan D19

$$Mu^{(+)} = 103088792,9 \text{ Nmm}$$

Pakai jumlah tulangan tarik,  $n = 3$  buah ( $As = 850,155 \text{ mm}^2$ )

Pakai jumlah tulangan tekan,  $n' = 2$  buah ( $As' = 566,77 \text{ mm}^2$ )

$$d = 600 - 40 - 10 - (0,5 \times 19) = 540,5 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 13 + (0,5 \times 22) = 59,5 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(25-28)}{7} \geq 0,65 = 0,871$$

▪ **Analisa tulangan rangkap**

$$\rho = \frac{As}{b_w \times d} = \frac{850,155}{400 \times 540,5} = 0,00393$$

$$\rho' = \frac{As'}{b_w \times d} = \frac{566,77}{400 \times 540,5} = 0,00262$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y}$$

$$0 \geq \frac{0,85 \times 25 \times 0,871 \times 59,5}{400 \times 540,5} \times \frac{600}{600 - 400}$$

$$0 \leq 0,0153 \text{ (Tulangan tekan belum leleh)}$$

$$\text{Maka : } A_s f_y = 0,85 f_c' \beta_1 c \cdot b + A_s' \left[ 600 \left( \frac{c - d'}{c} \right) - 0,85 f_c' \right]$$

Dengan penyelesaian persamaan kuadrat didapat  $c = 47,569 \text{ mm}$

$$a = \beta_1 \times c = 0,871 \times 47,569 = 41,432 \text{ mm}$$

$$f_s' = 600 \left( \frac{c - d'}{c} \right) \leq f_y$$

$$f'_s = 600 \left( \frac{47,569 - 59,5}{47,569} \right) \leq 390$$

$$f'_s = -150,488 \geq 390 \text{ MPa (tulangan tekan dalam kondisi tarik)}$$

Maka diambil  $f'_s = 150,488 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) + A'_s \times f'_s \times (d - d') \\ &= 850,155 \times 400 \times \left( 540,5 - \frac{41,432}{2} \right) + 566,7 \times 150,488 \times (540,5 - 59,5) \\ &= 135733097 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75 + 0,15 \left[ \left( \frac{1}{(c/d)} \right) - (5/3) \right] \leq 0,9$$

$$\phi = 2,204 \rightarrow \phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 135733097 \text{ Nmm} \\ &= 122159788 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$122159788 \text{ Nmm} > 103088792,9 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Maka tulangan diatas kuat menahan beban ultimate balok.

Hasil dari penulangan setelah komposit adalah sebagai berikut,

- Tulangan Tumpuan
  - Tulangan atas = 5D19 ( $A_s = 1416,925 \text{ mm}^2$ )
  - Tulangan bawah = 3D19 ( $A_s = 850,155 \text{ mm}^2$ )
- Tulangan Lapangan
  - Tulangan atas = 3D19 ( $A_s = 850,155 \text{ mm}^2$ )
  - Tulangan bawah = 2D19 ( $A_s = 566,77 \text{ mm}^2$ )

#### d. Penulangan Geser dan Torsi

Sesuai peraturan SNI 03-2847-2013 bab 11 mengenai geseran torsi, perencanaan tulangan geser dan torsi mengikuti kaidah berikut ini: Perencanaan penampang yang diakibatkan oleh geser harus didasarkan pada perumusan:

$$\Phi V_n = V_u \quad (\text{SNI 03-2847-2013 Pasal 11.1})$$

Dengan  $V_u$  merupakan gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan  $V_n$  merupakan kuat geser nominal yang ditinjau dari:

$$V_n = V_c + V_s$$

Dimana:

$V_u$  = Geser pada terfaktor penampang yang ditinjau

$\Phi$  = Faktor reduksi geser (0,75)

$V_n$  = Kuat Geser nominal

$V_c$  = Kuat geser beton

$V_s$  = Kuat Geser nominal tulangan geser

Sedangkan untuk perencanaan penampang yang diakibatkan oleh torsi harus didasarkan pada perumusan sebagai berikut:

$$\phi T_n \geq T_u \quad (\text{SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.5})$$

Tulangan sengkang untuk torsi harus direncanakan berdasarkan (SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.6) sesuai persamaan berikut:

$$T_n = \frac{2A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta$$

Dimana:

$T_n$  = kekuatan momen torsi nominal

$T_u$  = momen torsi terfaktor pada penampang

$A_o$  = luas penampang beton yang menahan transfer geser,  $\text{mm}^2$

$A_t$  = luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan torsi dalam spasi  $s$ ,  $\text{mm}^2$

$f_{yt}$  = kuat leleh tulangan sengkang torsi (MPa)

$s$  = spasi tulangan geser atau puntir dalam arah parallel dengan tulangan longitudinal

Sesuai peraturan (SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.2.2) bahwa pada struktur statis tak tentu dimana reduksi momen torsi pada komponen struktur dapat terjadi akibat redistribusi gaya-gaya

dalam. Pengaruh torsi balok diabaikan bila momen torsi terfaktor  $T_u$  kurang dari:

$$\phi 0,33 \lambda \sqrt{f'_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

Dimana:

- $\phi$  = Faktor reduksi kekuatan
- $f'_c$  = Kuat tekan beton, Mpa
- $A_{cp}$  = Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton, mm<sup>2</sup>
- $P_{cp}$  = Keliling luar penampang beton, mm<sup>2</sup>

### ➤ Penulangan Geser

#### ▪ Penulangan Geser Balok Balok Induk Interior 7,2 meter

Penulangan geser balok induk didasarkan pada SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.3 dimana nilai gaya geser rencana (yang digunakan untuk perencanaan desain) bukan hanya pada gayageser yang terjadi, tetapi harus memenuhi persyaratan yang disesuaikan dengan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.3.

- Jumlah gaya lintang yang terjadi akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentangbersihnya dan akibat beban gravitasi terfaktor.
- Gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban rencana termasuk beban gempa dimana nilai beban gempadiambil sebesar dua kali lipat nilai yang ditentukan dalam peraturan perencanaan tahan gempa.

Dari perhitungan sebelumnya didapatkan penulangan tumpuan dan lapangan untuk balok dengan bentang 7,2 meter.

Perumusan perhitungan gaya lintang pada balok

$$V_u = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \pm \left( \frac{W_u \times l_n}{2} + \frac{P_u}{2} \right)$$

Dari persyaratan yang telah ditetapkan di atas maka besarnya gaya geser rencana dilakukan dengan membandingkan nilai

momen nominal ujung balok (pada muka kolom) ditambah dengan gaya geser beban gravitasi berfaktor.

Nilai momen nominal maksimum dari cek momentulangan nominal terpasang dengan asumsi tumpuan kiri dan kanan memiliki jumlah tulangan yang sama. Menurut SNI 2847-2013 pasal 21.6.5.1 persamaan yang digunakan dalam menghitung tulangan geser adalah sebagai berikut:

$$M_{pr} = A_s \times 1,25 \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$a = \frac{A_s \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

**Tabel 4. 23** Nilai  $M_{pr}$  balok induk interior

LOKASI			Tul. Pasang	As perlu	a (mm)	$M_{pr}$ (kNm)
Tumpuan	KIRI	ATAS	5	1416,925	83,35	353,4
		BAWAH	3	850,155	50,01	219,125
	KANAN	ATAS	5	1416,925	83,35	353,4
		BAWAH	3	850,155	50,01	219,125

$$M_{pr1} = 353,4 \text{ kNm}$$

$$M_{pr2} = 219,125 \text{ kNm}$$

$$l_n = 720 - 90 = 630 \text{ cm} = 6,3 \text{ m}$$

### **Perhitungan beban pada balok induk**

#### **Beban mati**

$$\text{Berat sendiri pelat pracetak} = 0,15 \times 2400 = 360 \text{ kg/m}^2$$

#### **Beban hidup**

$$\text{Sekolah} = 250 \times 0,8 = 200 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Dimensi balok induk} = 40/60$$

$$\text{Bentang balok induk} = 7,2 \text{ meter}$$

#### **Beban Terpusat dari Balok Anak**



### **Beban mati**

$$\begin{aligned}\text{Berat sendiri balok anak} &= 0,15 \times 2400 \times 7,2 &= 2592 \text{ kg} \\ \text{Berat ekivalen pelat(trapesium)} &= 360 \times 5,76 &= \underline{2073,6 \text{ kg}}+ \\ &\text{DL} &= 4665,6 \text{ kg}\end{aligned}$$

### **Beban hidup**

$$\begin{aligned}\text{Gedung Sekolah} &= 250 \times 0,8 \times 5,76 &= \underline{1152 \text{ kg}}+ \\ &\text{LL} &= 1152 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_u &= 1,2DL + 1,6LL = 1,2 \times 4665,6 + 1,6 \times 1152 \\ &= 7441,92 \text{ kg}\end{aligned}$$

### **Beban Terbagi Rata Balok Induk**

#### **Beban mati**

$$\begin{aligned}\text{Berat ekivalen pelat (segitiga)} &= 360 \times 0,64 &= 230,4 \text{ kg/m} \\ \text{Berat sendiri balok induk} &= 0,24 \times 2400 &= \underline{576 \text{ kg/m}}+ \\ &\text{qD} &= 806,4 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

#### **Beban hidup**

$$\begin{aligned}\text{Gedung Sekolah} &= 250 \times 0,8 \times 0,64 &= \underline{128 \text{ kg/m}}+ \\ &\text{qL} &= 128 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}q_u &= 1,2qD + 1,6qL = 1,2 \times 806,4 + 1,6 \times 128 \\ &= 1172,48 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

Maka beban pada balok induk:

$$P_u \text{ total} = 3 \times P_u \text{ (Balok anak ada di tiga titik)}$$

$$= 3 \times 7441,92$$

$$= 22325,76 \text{ kg}$$

$$= 223257,6 \text{ N}$$

$$q_u = 1172,48 \text{ kg/m}$$

$$V_u = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \pm \frac{W_u \times l_n + P_u}{2}$$

$$= 126671,54 \text{ N}$$

$$V_u = \underline{\underline{126671,54 \text{ N}}}$$

$$V_u = 136926,14 \text{ N (SAP2000)}$$

- **Pemasangan sengkang daerah sendi plastis**

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5.4.2 bahwa tulangan transversal untuk memikul geser dengan menganggap  $V_c = 0$ , apabila:

1.  $M_{pr} \geq 0,5 \times \text{Total geser kombinasi gempa dan gravitasi}$   
 $(416,993 + 287,443)/6,3 \geq 0,5 \times 177800 \text{ kN}$   
 $230,952 > 88,9 \quad \dots (\text{OK})$
2. Gaya Aksial Tekan  $< A_g \times f_c' / 20$   
 $P_u \text{ balok sangat kecil} \quad \dots (\text{OK})$

Karena Gaya aksial terlalu kecil maka persyaratan memenuhi:

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} = \frac{136926,14}{0,75} = 182,168 \text{ kN}$$

Jika dipakai begel 2 kaki dengan D10 mm ( $A_v = 157 \text{ mm}^2$ )

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{157 \times 400 \times 540,5}{182,168 \times 10^3} = 185,192 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 bahwa sengkang harus disediakan di sepanjang sendi plastis pada kedua ujung balok dengan panjang  $2h = 2 \times 700 = 1400 \text{ mm}$  dengan jarak sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- a.  $d/4 = 540,5 / 2 = 270,25 \text{ mm}$
- b.  $8 \times D_{\text{tul longitudinal}} = 8 \times 19 = 152 \text{ mm}$
- c.  $24 \times D_{\text{tul sengkang}} = 24 \times 13 = 240 \text{ mm}$
- d.  $300 \text{ mm}$

Dari Syarat diatas maka diambil sengkang didaerah plastis D10-150 mm. Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan.

#### ▪ Pemasangan sengkang diluar sendi plastis

Nilai geser maksimum,  $V_u$ , di luar sendi plastis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_u &= V_u - W_u(2h) \\ V_u &= 136,926 - 11,725 \times (2 \times 0,6) \\ &= 122,856 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka,

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} = \frac{122,856}{0,75} = 207,214 \text{ kN}$$

Jika dipakai begel 2 kaki dengan D10 mm ( $A_v = 150 \text{ mm}^2$ )

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{157 \times 400 \times 540,5}{207214} = 207,214 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.3 bahwa jarak sengkang diluar sendi plastis di sepanjang balok tidak lebih dari:

$$s \leq d/2 \\ \leq 540,5/2 = 270,25 \text{ mm}$$

Maka, dipakai sengkang di luar sendi plastis D10-190 mm.

### ➤ Perhitungan Penulangan Torsi

Data perencanaan:

Dimensi Balok Induk = 400/600 mm

Tu = 51096084,62 Nmm

Pada kasus ini balok induk termasuk torsi kompatibilitas dimana dapat terjadi redistribusi puntir sehingga berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.1 (a) maka momen puntir terfaktor maksimum dapat direduksi sesuai persamaan berikut:

$$T_u < \phi 0,33 \sqrt{f'_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$51096084,62 < 0,75 \times 0,33 \times \sqrt{25} \left( \frac{(400 \times 600)^2}{(400 + 600) \times 2} \right)$$

$$51096084,62 > 35640000 \text{ Nmm}$$

Dengan demikian dibutuhkan Tulangan Torsi.

### ▪ Kekuatan Momen Torsi

Dimensi penampang harus sebagai berikut:

$$\sqrt{\left( \frac{V_u}{b_w d} \right)^2 + \left( \frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left( \frac{V_c}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f'_c} \right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{177800}{5400 \times 540,5}\right)^2 + \left(\frac{51096084,62 \times 1600}{1,7 \times 200000^2}\right)^2}$$

$$\leq 0,75 \left( \frac{200000}{400 \times 540,5} + 0,66\sqrt{25} \right)$$

$$2,29 \leq 3,168 \dots\dots(\text{OK})$$

Desain penampang harus berdasarkan pada

$$\phi T_n \geq T_u$$

$$T_n = \frac{2A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta$$

Dimana :

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 A_{ho} \\ &= 0,85 (150000) \\ &= 127500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_t = 150 \text{ mm}^2 \text{ (tulangan 2D10)}$$

$$s = 150 \text{ mm (jarak sengkang)}$$

$$\theta = 45^\circ \text{ (struktur non-prategang)}$$

maka,

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{2 \times 127500 \times 150 \times 400}{150} \cot(45^\circ) \\ &= 106760000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\phi T_n \geq T_u$$

$$0,75 \times 106760000 \geq 97593389,1$$

$$80070000 > 51096084,62 \dots\dots\text{OK}$$

▪ Luas Tulangan Longitudinal

Berdasarkan SNI-2847-2013 pasal 11.5.5.3 luas total minimum tulangan torsi longitudinal harus dihitung dengan:

$$\begin{aligned}
 A_\ell &= \frac{0,42\sqrt{f_c'}A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s}\right)P_h \frac{f_{yt}}{f_y} \\
 &= \frac{0,42\sqrt{25} \times 240000}{400} - \left(\frac{157}{150}\right)1600 \times \frac{400}{400} \\
 &= 422,667 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan torsi longitudinal 2D19 ( $A_s = 566,7 \text{ mm}^2$ )

#### e. Kontrol lendutan

Komponen struktur beton yang mengalami lentur harus dirancang agar memiliki kekakuan cukup untuk batas deformasi yang akanmemperlemah kemampuan layan struktur saat bekerja. SesuaiSNI 03-2847-2013 tabel 9.5(a), syarat tebal minimum balokapabila lendutan tidak dihitung adalah sebagai berikut:

Balok dengan dua tumpuan

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times L_b$$

Lendutan tidak perlu dihitung sebab sejak preliminary design telah direncanakan agar tinggi dari masing-masing tipe baloklebih besar dari persyaratan  $h_{\min}$

#### f. Kontrol retak

Berdasarkan SNI-2847-2013 pasal 14.8.2.4 tulangan dari komponen struktur harus memberikan kekuatan desain

$$\phi M_n \geq M_{cr}$$

dimana  $M_{cr}$ harus diperoleh menggunakan modulus hancur,  $f_r$ , yang diberikan pada SNI-2847-2013 pasal 9.5.3.2

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t}$$

dan

$$f_r = 0,62\lambda\sqrt{f_c'}$$

dimana:

$M_{cr}$  = momen retak

$f_r$  = modulus hancur beton

$I_g$  = momen inersia penampang beton bruto

$y_t$  = jarak dari sumbu pusat penampang bruto ke muka Tarik

$\lambda$  = faktor modifikasi ( $\lambda = 1,0$  untuk beton berat normal)

$$f_r = 0,62 \times 1 \times \sqrt{25}$$

$$= 3,1 \text{ Mpa}$$

$$I_g = 1/12 \times 400 \times 600^3 = 7,2 \times 10^9 \text{ mm}^2$$

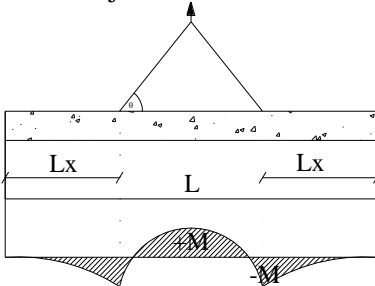
$$M_{cr} = \frac{3,1 \times 7,2 \times 10^9 \text{ mm}^2}{300}$$

$$= 74400000 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 122159787,8 \text{ Nmm} \geq M_{cr} = 74400000 \text{ Nmm} \dots \text{OK}$$

#### 4.4.2.4 Pengangkatan Elemen Balok Induk

Balok induk dibuat secara pracetak di pabrik. Elemen balok harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan. Titik pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok tersebut dari kerusakan.



**Gambar 4. 28** Momen saat pengangkatan balok induk

Dimana :

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left( 1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \operatorname{tg} \theta} \right)$$

$$-M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4Y_c}{L \times \operatorname{tg} \theta}}{2 \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Y_b} \left( 1 + \frac{4Y_c}{L \times \operatorname{tg} \theta} \right)} \right)}$$

➤ **Kondisi sebelum komposit**

$$b = 40 \text{ cm}$$

$$h = 45 \text{ cm}$$

$$L = 720 \text{ cm}$$

Perhitungan :

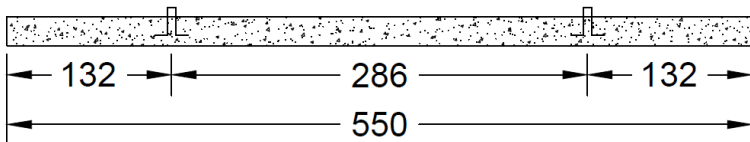
$$Y_t = Y_b = \frac{(45 - 15)}{2} = 20 \text{ cm}$$

$$Y_c = 20 + 5 = 25 \text{ cm}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4 \times 25}{720 \times \operatorname{tg} 45^\circ}}{2 \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{20}{20} \left( 1 + \frac{4 \times 25}{720 \times \operatorname{tg} 45^\circ} \right)} \right)} = 0,23$$

$$X \times L = 0,23 \times 720 = 165,6 \text{ cm} = 165 \text{ cm}$$

$$L - 2 \times (X \times L) = 720 - 2 \times (165) = 390 \text{ cm}$$



**Gambar 4. 99** Letak titik pengangkatan

**e. Pembebanan**

$$\text{Balok } (0,4 \times 0,45 \times 7,2 \times 2400) = 3110,4 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} T \sin \phi &= P = \frac{1,2 \times k \times W}{2} \\ &= \frac{1,2 \times 1,2 \times 3110,4}{2} \\ &= 2239,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$T = \frac{2239,5}{\sin 45^\circ} = 3167,131 \text{ kg}$$

**f. Tulangan Angkat Balok Induk**

$$P_u = 3167,13 \text{ kg}$$

Menurut PBTI pasal 2.2.2. tegangan ijin tarik dasar baja bertulang mutu  $f_y = 400 \text{ Mpa}$  adalah  $f_y/1,5$ . Jika dipakai tulangan polos dengan mutu  $f_y = 240 \text{ Mpa}$ , maka:

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = 2400/1,5 = 1600 \text{ kg/m}^2$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{P_u}{\sigma_{\text{ijin}} \times \pi}}$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{3167,13}{1600 \times \pi}}$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq 0,79 \text{ cm}$$

Digunakan Tulangan  $\phi 10 \text{ mm}$

- Pembebanan**

$$\text{Balok } (0,4 \times 0,45 \times 2400) = 432 \text{ kg/m}$$

Dalam upaya untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan faktor akibat pengangkatan sebesar 1,2 sebagai berikut:

➤ Momen lapangan



$$+ M = \frac{WL^2}{8} \left( 1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \tan \theta} \right) \times k$$

$$+ M = \left( \frac{432 \times 7,2^2}{8} \left( 1 - 4 \times 0,23 + \frac{4 \times 0,25}{7,2 \times \tan 45} \right) \right) \times 1,2$$

$$= 718,875 \text{ kgm}$$

- Tegangan yang Terjadi

$$f = \frac{M}{W_t} = \frac{718,875 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 400 \times 450^2}$$

$$= 0,532 \text{ MPa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 3,22 \text{ MPa OK}$$

➤ Momen tumpuan

$$- M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$- M = \left( \frac{432 \times 0,23^2 \times 7,2^2}{2} \right) \times 1,2 = 710,813 \text{ kgm}$$

- Tegangan yang terjadi

$$f = \frac{M}{W_t} = \frac{7108130}{\frac{1}{6} \times 400 \times 450^2}$$

$$= 0,526 \text{ MPa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 3,22 \text{ MPa OK}$$

Dari perhitungan momen diatas, didapatkan nilai  $f'$  akibat momen positif dan negatif berada dibawah nilai  $f'_{r_{ijin}}$  usia beton 14 hari. Jadi dapat ditarik kesimpulan, balok anak tersebut aman dalam menerima tegangan akibat pengangkatan.

#### 4.4.2.5 Penulangan Balok Induk yang Terpasang

Penulangan balok induk yang terpakai atau yang akan dipasang adalah dipilih penulangan yang paling banyak dari kedua keadaan diatas (keadaan sebelum komposit dan sesudah komposit) yaitu sebagai berikut:

**Tabel 4. 84**Penulangan Lapangan Balok Induk

Kode Balok Induk		L	b	h	Tulangan Lentur		Sengkang	Torsi
		mm	mm	mm	Atas	Bawah		
BI1	INT	7200	400	600	3D19	8D19	D10-190	2D19
BI1	EXT	7200	400	600	2D19	5D19	D10-250	2D19
BI2	INT	4800	400	600	2D19	5D19	D10-240	2D19
BI2	EXT	4800	400	600	2D19	3D19	D10-200	2D19
BI3	INT	3600	400	600	3D19	3D19	D10-150	2D19
BI3	EXT	3600	400	600	2D19	3D19	D10-250	2D19
BI4	-	2400	400	600	2D19	3D19	D10-250	2D19

**Tabel 4. 95**Penulangan Tumpuan Balok Induk

Kode Balok Induk		L	b	h	Tulangan Lentur		Sengkang	Torsi
		mm	mm	mm	Atas	Bawah		
BI1	INT	7200	400	600	5D19	4D19	D10-150	2D19
BI1	EXT	7200	400	600	4D19	3D19	D10-200	2D19
BI2	INT	4800	400	600	3D19	2D19	D10-210	2D19
BI2	EXT	4800	400	600	2D19	2D19	D10-250	2D19
BI3	INT	3600	400	600	3D19	3D19	D10-230	2D19
BI3	EXT	3600	400	600	2D19	2D19	D10-230	2D19
BI4	INT	2400	400	600	2D19	2D19	D10-250	2D19

#### 4.4.3 Perencanaan Kolom

Kolom merupakan struktur utama yang berfungsi memikul beban-beban yang diterima struktur, baik dari struktur sekunder maupun balok induk, serta berfungsi untuk meneruskan beban yang diterima ke pondasi. Pada perencanaan Tugas Akhir ini, kolom yang diperhitungkan diambil pada kolom yang memikul beban terbesar.

##### 4.4.3.1 Data Umum Perencanaan Kolom

Data umum perencanaan adalah sebagai berikut:

- Dimensi kolom : 90/90 cm
- Tinggi kolom : 380 cm
- Tebal decking : 40 mm
- Diameter Tulangan Utama (D) : 25 mm
- Diameter Sengkang ( $\phi$ ) : 16 mm
- Mutu baja ( $f_y$ ) : 400 Mpa
- Mutu beton ( $f_c'$ ) : 25 Mpa
- $d = 900 - 40 - 16 - (0,5 \times 25) = 831,5$  mm

#### 4.4.3.2 Kontrol Dimensi Kolom

Sebelum diperiksa syarat dimensi kolom menurut SNI-2847-2013 Pasal 21.6.1 harus dipenuhi bila:

- Kolom sebagai penahan gaya gempa dan yang menahan gaya tekan aksial
- Menerima beban aksial berfaktor lebih besar dari  $A_g f_c'/10 = 900 \times 900 \times 20/10 = 1470000$  N = 2025 kN

Karena 2025 kN ini lebih kecil dari beban aksial berfaktor maximum dari SAP (4744,29 kN) maka pasal tersebut diatas berlaku:

- Ukuran penampang terpendek 700 mm > 300 mm (Ok)
- Ratio  $b/h = 900/900 = 1 > 0,4$  (Ok)

#### 4.4.3.3 Perhitungan Penulangan Kolom

Dengan menggunakan *software* SAP2000 diperoleh Besarnya gaya dalam pada kolom sebagai berikut:

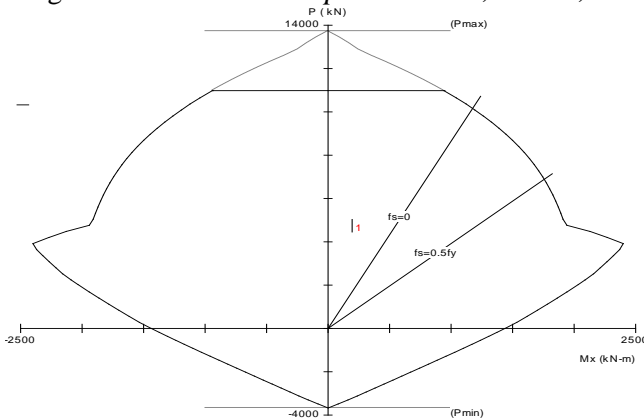
**Tabel 4. 106** Gaya dalam kolom

Ukuran (mm)	Aksial (kN)	Torsi (kN-m)	Momen (kN-m)
900x900	4744,29	6,076	195,82

Sesuai dengan persyaratan pada SNI-03-2847 2013 komponen struktur yang memikul gaya aksial terfaktor akibat beban gravitasi terfaktor yang melebihi  $A_g f_c'/10$ , harus memenuhi ketentuan pada *pasal* 21.6.4, 21.6.5, dan 21.7.3.

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya aksial terfaktor} &\leq A_g \times \frac{f'_c}{10} \\
 &\leq 900 \times 900 \times \frac{25}{10} \\
 &\leq 2025000 \text{ N} = 2025 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dari hasil analisa dengan program bantu *SAP 2000* didapat gaya aksial tekan terfaktor yang terbesar adalah 4744,29kN. Karena beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur telah melebihi  $A_g \times \frac{f'_c}{10}$ , maka detail pengekanan kolom harus sesuai dengan SNI 03-2847-2013 *pasal 21.6.4, 21.6.5, dan 21.7.3.*



**Gambar 4. 30**Diagram interaksi aksial vs momen kolom

Berdasarkan kombinasi pada **Tabel 4.26**, maka kolom memerlukan tulangan memanjang (longitudinal) sebanyak 16D25 ( $\rho = 1,01 \%$ ) seperti pada hasil perhitungan program bantu *PCAColumn* pada **Gambar 4.30**. Kebutuhan  $\rho$  tersebut telah memenuhi syarat SNI 03-2847-2013 pasal 10.9.1 yaitu antara 1% - 8%. Dari hasil analisis kolom menggunakan program bantu *PCAColumn*, didapat hasil analisa sebagai berikut:

- Rasio tulangan longitudinal      = 1,01 %
- Penulangan 16D25                      =  $A_s = 8154,82 \text{ mm}^2$

- $I_x = 5,47 \times 10^{10} \text{ mm}^4$
- $I_y = 5,47 \times 10^{10} \text{ mm}^4$
- $A_g = 810000 \text{ mm}^2$

#### 4.4.3.4 Kontrol Kapasitas Beban Aksial Kolom

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 10.3.6.2, kapasitas beban aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisa struktur.

$$\begin{aligned}\phi P_n (\text{max}) &= 0,8 \times \phi \times [0,85 \times f'_c (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}] \\ &= 0,8 \times 0,65 \times [0,85 \times 25 \times (810000 - 8154,82) + 400 \times 8154,82] \\ &= 10556591 \text{ N} \\ &= 10556,59 \text{ kN} > 4744,29 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{OK}\end{aligned}$$

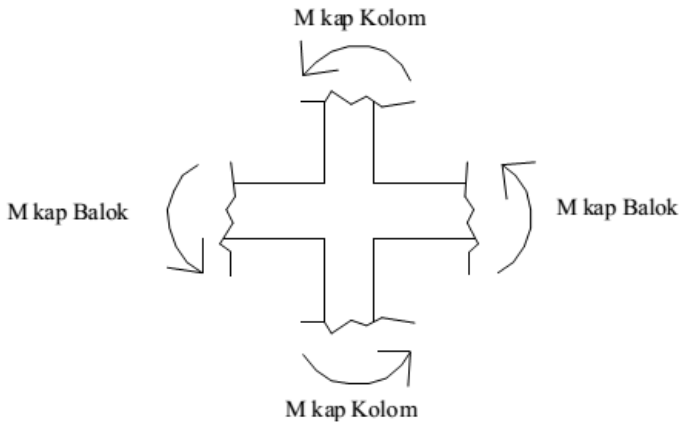
jadi, tulangan memanjang 16 D25 dapat digunakan.

#### 4.4.3.5 Persyaratan “Strong Column Weak Beams”

Sesuai dengan filosofi desain kapasitas, maka SNI-2847-2013 pasal 21.6.2 mensyaratkan bahwa.

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$$

Dimana  $\sum M_{nc}$  adalah momen kapasitas kolom dan  $\sum M_{nb}$  merupakan momen kapasitas balok. Perlu dipahami bahwa  $M_{nc}$  harus dicari dari gaya aksial terfaktor yang menghasilkan kuat lentur terendah, sesuai dengan arah gempa yang ditinjau yang dipakai untuk memeriksa syarat *strong column weak beam*. Setelah kita dapatkan jumlah tulangan untuk kolom, maka selanjutnya adalah mengontrol apakah kapasitas kolom tersebut sudah memenuhi persyaratan *strong kolom weak beam*.



**Gambar 4. 31** Ilustrasi Kuat Momen yang Bertemu di HBK

Dari hasil analisa *SpColumn* didapatkan nilai  $\phi M_n = 2028,65 \text{ kNm}$  dan  $\phi = 0,65$

$$\text{Maka, } M_n = \frac{\phi M_n}{\phi} = \frac{2028,65}{0,65} = 3120,769 \text{ kNm}$$

$M_{nc}$  didapat:

$$\sum M_{nc} = 2 \times (3120,769) = 6241,54 \text{ kNm}$$

Nilai  $M_g$  dicari dari jumlah  $M_{nb+}$  dan  $M_{nb-}$  balok yang menyatu dengan kolom didapat dari  $M_n$  di tabel penulangan balok interior. Diperoleh bahwa:

$$M_{nb+} = 241,735 \text{ kNm}$$

$$M_{nb-} = 332,911 \text{ kNm}$$

Sehingga

$$\sum M_{nb} = 0,85 \times (241,735 + 332,911) = 488,45 \text{ kNm}$$

$$\text{Persyaratan } \sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$$

*Strong*
*Column*
*Weak*
*Beam*

Maka:

$$6241,538 \text{ kNm} > 1,2 \times 488,45 \text{ kNm}$$

$$6241,538 \text{ kNm} > 586,14 \text{ kNm (Ok)}$$

Maka Memenuhi Persyaratan “*Strong Column Weak Beam*”

#### 4.4.3.6 Kontrol Persyaratan Kolom Terhadap Gaya Geser Rencana $V_e$

➤ Geser pada kolom :

Bedasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.5.1 gaya geser desain,  $V_e$  ditentukan sebagai berikut :

$$V_e = \frac{(2 \times M_{pr})}{L_n}$$

$M_{pr}$  adalah kekuatan lentur mungkin komponen struktur, dengan atau tanpa beban aksial, yang ditentukan menggunakan properti komponen struktur pada muka joint yang mengasumsikan tegangan tarik dalam batang tulangan longitudinal sebesar paling sedikit **1,25  $f_y$** . Sehingga nilai  $f_y$  untuk analisa geser sebesar :

$$1,25 \times f_y = 1,25 \times 400 = 500 \text{ Mpa}$$

Dari hasil analisa *SpColumn* didapatkan nilai  $\phi M_n = 1963,5$  kNm dan  $\phi = 0,65$

$$\text{Maka, } M_{pr} = M_n = \frac{\phi M_n}{\phi} = \frac{1963,5}{0,65} = 3020,77 \text{ kNm}$$

Panjang bentang bersih:  $3,8 - 0,6 = 3,2 \text{ m}$

$$V_e = \frac{(2 \times 3020,77)}{3,2} = 1887,98 \text{ kN}$$

➤ Geser pada balok :

Perhitungan  $M_{pr}$  pada balok:

$$- M_{pr}^+ = 241,735 \text{ kNm}$$

$$- M_{pr}^- = 332,911 \text{ kNm}$$

$$V_u = 2 \times \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{l_1} \times \frac{l_2}{l_1 + l_2}$$

$$V_u = 2 \times \frac{241,735 + 332,911}{3,2} \times \frac{3,2}{(3,2 + 3,2)}$$

$$V_u = 179,577 \text{ kN}$$

$$V_e > V_u$$

$$1887,98 \text{ kN} > 179,577 \text{ kN}$$

Nilai gaya geser diambil nilai terbesar dari kedua nilai di atas sehingga diambil nilai gaya geser sebesar 1887,98 kN.

### A. Pengekang kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.4.1 panjang  $\ell_o$  tidak boleh kurang dari yang terbesar dari :

a)  $h = 900 \text{ mm}$

b)  $\frac{1}{6} \times l_n = \frac{1}{6} \times 3200 = 533,3 \text{ mm}$

c)  $450 \text{ mm}$

∴Maka,  $\ell_o$  pakai adalah 900 mm

Untuk jarak sengkang (s) sepanjang panjang  $\ell_o$  berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.4.3 tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

a)  $\frac{1}{4} \times b = \frac{1}{4} \times 900 = 225 \text{ mm}$

b)  $6 \times dl = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$

c)  $s_o = 100 + \left( \frac{350 - h_x}{3} \right)$   

$$= 100 + \left( \frac{350 - (0,5 \times (900 - 2 \times (40 + 16 / 2)))}{3} \right) = 82,67 \text{ mm}$$

Dimana  $S_o$  tidak perlu lebih besar dari 150 mm dan tidak perlu lebih kecil dari 83 mm.

Maka dipakai jarak sengkang (s) = 83 mm

Untuk Ash minimal sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai lebih besar dari hasil 2 rumus berikut:



$$A_{sh} = 0,3 \times \frac{s b_c f_c'}{f_{yt}} \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$$

atau

$$A_{sh} = 0,09 \frac{s b_c f_c'}{f_{yt}}$$

Keterangan:

S = jarak spasi tulangan transversal (mm)

b<sub>c</sub> = dimensi potongan melintang dari inti kolom, diukur dari pusat ke pusat dari tulangan pengekang (mm)

A<sub>g</sub> = luasan penampang kolom (mm<sup>2</sup>)

A<sub>ch</sub> = luasan penampang kolom diukur dari daerah terluar tulangan transversal (mm<sup>2</sup>)

f<sub>yt</sub> = kuat leleh tulangan transversal (Mpa)

Dengan asumsi bahwa s = 83 mm, f<sub>yt</sub> = 400 Mpa, selimut beton = 40 mm dan D<sub>s</sub> = 16 mm. sehingga diperoleh:

$$b_c = 900 - 2(40 + \frac{1}{2} \times 16) = 804 \text{ mm}$$

$$A_g = 900 \times 900 = 810000 \text{ mm}^2$$

$$A_{ch} = (900 - 40)^2 = 739600 \text{ mm}^2$$

Maka:

$$A_{sh} = 0,3 \times \frac{83 \times 804 \times 25}{400} \left[ \left( \frac{810000}{739600} \right) - 1 \right] = 119,1 \text{ mm}^2$$

atau

$$A_{sh} = 0,09 \times \frac{83 \times 804 \times 25}{400} = 375,36 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 401,92 \text{ mm}^2 > A_{sh} \text{ max} = 401,92 \text{ mm}^2$$

Untuk memenuhi syarat diatas dipasang 2D16 – 100mm (A<sub>sh</sub> = 401,92 mm<sup>2</sup> > 375,36 mm<sup>2</sup>). Nilai V<sub>c</sub> diambil sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.2

$$V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c} b_w d$$

$$V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{4744290}{14 \times 810000} \right) \times 1 \times \sqrt{25} \times 900 \times 831,5$$

$$V_c = 902220,164 N = 902,22 kN$$

Bedasarkan  $A_{2D16} = 401,92 \text{ mm}^2$  dan s terpasang = 83 mm

$d = h \text{ kolom} - d' - \phi \text{ sengkang} - \frac{1}{2} dl$

$$d = 900 - 40 - 16 - \frac{1}{2} 25$$

$$d = 831,5 \text{ mm}$$

$$V_s = \frac{A_s \times f_y \times d}{s}$$

$$V_s = \frac{401,92 \times 400 \times 831,5}{83} = 1610585 N = 1610,585 kN$$

Maka  $\phi(V_s + V_c)$

$$= 0,75(902,22 + 1610,585) = 1884,604 kN > V_u = 179,57 kN$$

Maka  $A_{sh}$  yang terpasang di  $\ell_o = 700 \text{ mm}$  cukup untuk menahan geser.

Bedasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.4.5 spasi sengkang di luar panjang  $\ell_o$  boleh melebihi yang lebih kecil dari:

$$a) 6 \times dl = 6 \times 25 = 150 mm$$

$$b) 150 \text{ mm}$$

∴ Maka, dipakai sengkang di luar panjang 2D16 - 150mm

## B. Panjang Lewatan pada Sambungan Tulangan Kolom

Sambungan kolom yang diletakkan di tengah tinggi kolom harus memenuhi ketentuan panjang lewatan yang ditentukan berdasarkan SNI03-2847-2013 pasal 12.2.3 berikut :

$$l_d = \left( \frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f_c}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\left( \frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) \times d_b$$

Dimana :

$$\Psi_t = 1 ; \Psi_e = 1 ; \Psi_s = 1$$

$$\lambda = 1$$

$K_{tr} = 0 \rightarrow$  penyederhanaan desain

$$c = 40 + d_s + \frac{1}{2}d_l$$

$$= 40 + 16 + \frac{1}{2} 25$$

$$= 68,5 \text{ mm}$$

$$l_d = \left( \frac{400}{1,1 \times 1 \times \sqrt{25}} \frac{1 \times 1 \times 1}{\left( \frac{68,5 + 0}{25} \right)} \right) \times 25$$

$$l_d = 663,57 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.7.2 sambungan lewatan tulangan ulir dan kawat ulir  $l_d \geq 200\text{mm}$ , maka

$$l_d \geq 200 \text{ mm}$$

$$663,57 \geq 200 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

**Tabel 4.27** Rekapitulasi Penulangan Kolom

Tipe Kolom	Ukuran	Tulangan Memanjang	Pengekang Kolom	
			sepanjang lo	di luar lo
K1	900x900	16D25	2D16-100	2D16-150
K2	800x800	16D25	2D16-100	2D16-150
K3	700x700	16D25	2D16-100	2D16-150

## 4.5 Perencanaan Sambungan

### 4.5.1 Umum

Sambungan berfungsi sebagai penyalur gaya-gaya yang dipikul oleh elemen struktur ke elemen struktur yang lainnya. Gaya-gaya tersebut untuk selanjutnya diteruskan ke pondasi. Selain itu desain sambungan dibuat untuk menciptakan kestabilan. Suatu sambungan diharapkan dapat mentransfer beberapa gaya secara bersamaan.

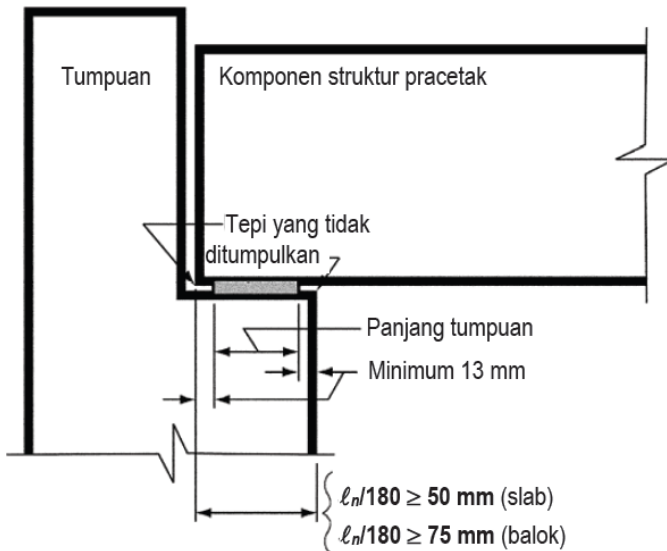
Sambungan basah relatif mudah dalam pelaksanaannya jika dibandingkan dengan sambungan kering (*non topping*) seperti *mechanical connection* dan *welding connection* yang cukup rumit. Untuk sambungan basah dalam daerah *joint*, diberikan tulangan yang dihitung berdasarkan panjang penyaluran dan sambungan lewatan. Selain itu juga dilakukan perhitungan geser friksi yaitu geser beton yang berbeda umurnya antara beton pracetak dengan beton *topping*. Di dalam pelaksanaan biasanya dipakai stud tulangan (*shear connector*) yang berfungsi sebagai penahan geser dan sebagai pengikat antara pelat pracetak dan pelat *topping* agar pelat bersifat secara monolit dalam satu kesatuan integritas struktur.

Dalam pelaksanaan konstruksi beton pracetak, sebuah sambungan yang baik selalu ditinjau dari segi praktis dan ekonomis. Selain itu perlu juga ditinjau *serviceability*, kekuatan dan produksi. Faktor kekuatan khususnya harus dipenuhi oleh suatu sambungan karena sambungan harus mampu menahan gaya-gaya yang dihasilkan oleh beberapa macam beban. Beban-beban tersebut dapat berupa beban mati, beban hidup, beban gempa dan kombinasi dari beban-beban tersebut.

Sambungan antar elemen beton pracetak tersebut harus mempunyai cukup kekuatan, kekakuan dan dapat memberikan kebutuhan daktilitas yang disyaratkan. Baik sambungan cor setempat maupun sambungan *grouting* sudah banyak dipergunakan sebagai salah satu pemecahan masalah dalam mendesain konstruksi pracetak yang setara dengan konstruksi cor setempat (*cast in situ*).

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 16.6.2.2, adalah

- $D = 1/180 L_n$
  - Untuk slab masif atau inti berongga (*hollow-core*) 50 mm
  - Untuk balok atau komponen struktur bertangkai (*stemmed*) 75 mm
- Dimana  $L_n$  = bentang bersih elemen pracetak

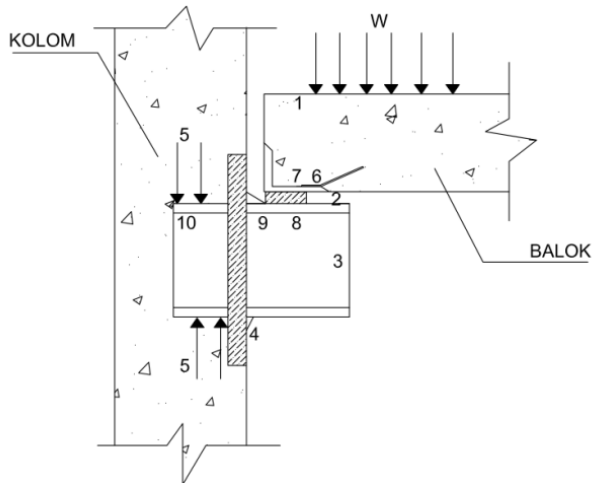


**Gambar 4. 32** Panjang Tumpuan pada Tumpuan

#### 4.5.2 Konsep Desain Sambungan

##### 4.5.2.1 Mekanisme Pemindahan Beban

Tujuan dari sambungan adalah memindahkan beban dari satu elemen pracetak ke elemen lainnya atau sebaliknya. Pada setiap sambungan, beban akan ditransfer melalui elemen sambungan dengan mekanisme yang bermacam-macam. Untuk menjelaskan mekanisme pemindahan beban, diambil contoh seperti Gambar 4.34 dimana pemindahan beban diteruskan kekolom dengan melalui tahap sebagai berikut:



**Gambar 4. 33** Mekanisme Pemindahan Beban

1. Beban diserap pelat dan ditransfer ke perletakan dengan kekuatan geser
2. Perletakan ke *haunch* melalui gaya tekan *pads*
3. *Haunch* menyerap gaya vertikal dari perletakan dengan kekuatan geser dan lentur dari profil baja.
4. Gaya geser vertikal dan lentur diteruskan ke pelat baja melalui titik las.
5. Kolom beton memberikan reaksi terhadap profil baja yang tertanam.

Mekanisme pemindahan gaya tarik akibat susut, dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Balok beton ke tulangan dengan lekatan/ikatan.
2. Tulangan baja siku di ujung balok diikat dengan las.
3. Baja siku di ujung balok ke *haunch* melalui gesekan di atas dan di bawah *bearing pads*. Sebagian gaya akibat perubahan volume dikurangi dengan adanya deformasi pada *pads*.
4. Sebagian kecil dari gaya akibat perubahan volume dipindahkan melalui las ke pelat baja.
5. Gaya tersebut ditahan oleh perletakan dan diteruskan oleh *stud* ke kolom beton melalui ikatan / lekatan.

#### **4.5.2.2 Klasifikasi Sistem dan Sambungannya**

Sistem pracetak didefinisikan dalam dua kategori yaitu lokasi penyambungan dan jenis alat penyambungan:

##### **1. Lokasi penyambungan**

Portal daktail dapat dibagi sesuai dengan letak penyambung dan lokasi yang diharapkan terjadi pelelehan atau tempat sendi daktailnya. Simbol-simbol di bawah ini digunakan untuk mengidentifikasi perilaku dan karakteristik pelaksanaannya.

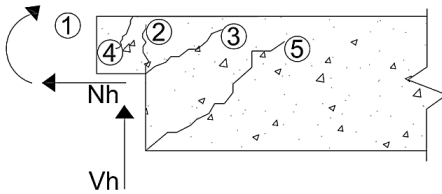
- *Strong*, sambungan elemen-elemen pracetak yang kuat dan tidak akan leleh akibat gempa-gempa yang besar.
- *Sendi*, sambungan elemen-elemen pracetak bila dilihat dari momen akibat beban lateral gempa dapat bersifat sebagai sendi.
- *Daktail*, sambungan elemen-elemen pracetak yang daktail dan berfungsi sebagai pemencar energi.
- Lokasi sendi plastis

##### **2. Jenis alat penyambung**

- *Shell pracetak* dengan bagian intinya di cor beton setempat
- *Cold joint* yang diberi tulangan biasa
- *Cold joint* yang diberi tulangan pracetak parsial, dimana joint digROUT.
- *Cold joint* yang diberi tulangan pracetak parsial, dimana joint tidak digROUT.
- *Sambungan-sambungan mekanik*

#### **4.5.2.3 Pola-pola Kehancuran**

Sebagian perencanaan diharuskan untuk menguji masing masing pola-pola kehancuran. Pada dasarnya pola kehancuran kritis pada sambungan sederhana akan tampak nyata. Sebagai contoh pada kehancuran untuk sambungan sederhana dapat dilihat pada gambar 4.35

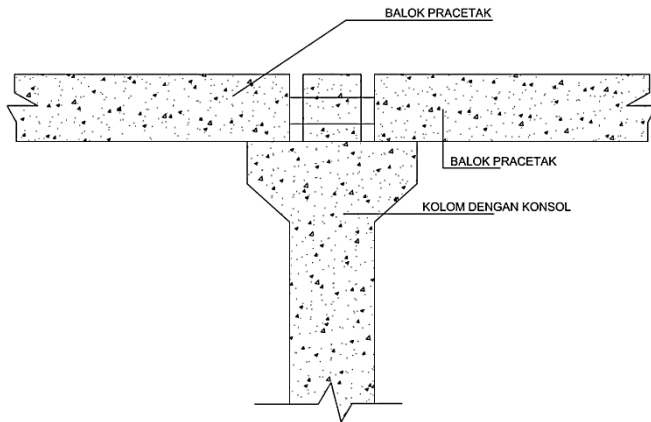


**Gambar 4. 34** Model keruntuhan

PCI desain handbook memberikan 5 pola kehancuran yang harus diselidiki pada waktu perencanaan *dapped-end* dari balok yaitu sebagai berikut

- 1) lentur dan gaya tarik aksial pada ujung
- 2) Tarik diagonal yang berasal dari sudut ujung
- 3) Geser langsung antar tonjolan dengan bagian utama balok
- 4) Tarik diagonal pada ujung akhir
- 5) Perletakan pada ujung atau tonjolan

Pada tugas akhir ini penulis merencanakan sistem balok pracetak yang mampu menumpu pada kolom dengan bantuan konsol pendek pada saat proses pencapaian penyambungan sebelum komposit sehingga mencapai kekuatan yang benar-benar monolit (menyatu dan berkesinambungan). Berikut disajikan permodelannya dalam gambar 4.36 berikut ini:



**Gambar 4. 35** Model sambungan balok pada konsol kolom



#### 4.5.3 Penggunaan Topping Beton

Penggunaan topping beton komposit disebabkan karena berbagai pertimbangan. Tujuan utamanya adalah:

- 1) Untuk menjamin agar lantai beton pracetak dapat bekerja sebagai satu kesatuan diafragma horizontal yang cukup kaku.
- 2) Agar penyebaran atau distribusi beban hidup vertical antar komponen pracetak lebih merata.
- 3) Meratakan permukaan beton karena adanya perbedaan penurunan atau camber mereduksi kebocoran air.

Tebal topping umumnya berkisar antara 50 mm sampai 100 mm. Pemindahan sepenuhnya gaya geser akibat beban lateral pada komponen struktur komposit tersebut akan bekerja dengan baik selama tegangan geser horizontal yang timbul tidak melampaui  $5,50 \text{ kg/cm}^2$ . Bila tegangan geser tersebut dilampaui, maka topping beton tidak boleh dianggap sebagai struktur komposit, melainkan harus dianggap sebagai beban mati yang bekerja pada komponen beton pracetak tersebut. Kebutuhan baja tulangan pada topping dalam menampung gaya geser horizontal tersebut dapat direncanakan dengan menggunakan geser friksi (*shear friction concept*).

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \times \mu} \geq A_{vf} \text{ min}$$

dimana:

$A_{vf}$  = luas tulangan geser friksi

$V_n$  = luas geser nominal  $< 0,2 f_c A_c$  (Newton)

$< 5,5 A_c$  (Newton)

$A_c$  = luas penampang beton yang memikul penyaluran geser

$F_y$  = kuat leleh tulangan

$\mu$  = koefisien friksi (1)

$A_{vf} \text{ min} = 0,018 A_c$  untuk baja tulangan mutu  $< 400 \text{ Mpa}$

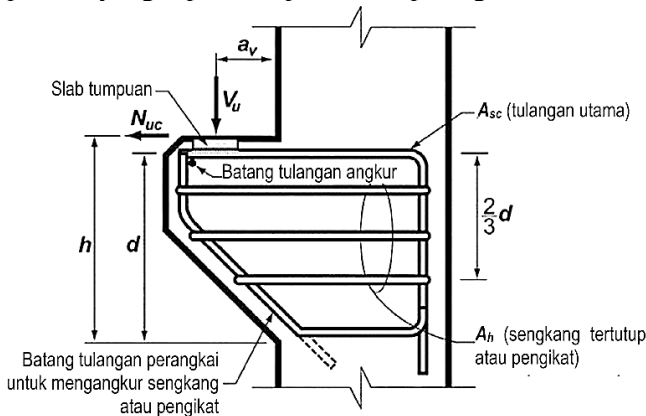
$= 0,018 \times 400/f_y$  untuk tulangan  $f_y > 400 \text{ Mpa}$  diukur

pada tegangan leleh 0,35% dalam segala hal tidak boleh kurang dari  $0,0014 A_c$

#### 4.5.4 Perencanaan Sambungan Balok dan Kolom

##### 4.5.4.1 Perencanaan Konsol pada Kolom

Pada perencanaan sambungan antara balok induk dan kolom dipergunakan sambungan dengan menggunakan konsol pendek. Balok induk diletakan pada konsol yang berada pada kolom yang kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada kolom tersebut mengikuti persyaratan yang diatur dalam SNI-03-2847-2013 Pasal 11.8 mengenai konsol pendek. Bentuk konsol pendek yang dipakai dapat dilihat pada gambar 4.37 berikutini:



**Gambar 4. 36** Geometrik konsol pendek

Ketentuan SNI 03 – 2847 – 2013 pasal 11.8 tentang perencanaan konsol pendek yang diatur sebagai berikut:

1. Perencanaan konsol pendek dengan rasio bentang geser terhadap tinggi  $a_v/d$  tidak lebih besar dari satu, dan dikenai gaya tarik horizontal terfaktor,  $N_{uc}$ , tidak lebih besar daripada  $V_u$ . Tinggi efektif  $d$  harus ditentukan di muka tumpuan
2. Tinggi di tepi luar luas tumpuan tidak boleh kurang dari  $0,5d$
3. Penampang di muka tumpuan harus didesain untuk menahan secara bersamaan  $V_u$  suatu momen terfaktor  $V_{ua} + N_{uc}(h-d)$ , dan gaya tarik horizontal terfaktor,  $N_{uc}$

- 1) Dalam semua perhitungan desain yang sesuai dengan SNI 03 – 2847 – 2013 pasal 11.8,  $\phi$  harus diambil sama dengan 0,75
- 2) Desain tulangan geser-friksi  $A_{vf}$  untuk menahan  $V_u$  harus sesuai dengan SNI 03 – 2847 – 2013 pasal 11.8:
  - a) Untuk beton berat normal,  $V_n$  tidak boleh melebihi yang terkecil dari  $0,2f'_c b_w d$ ,  $(3,3+0,08f'_c)b_w d$ , dan  $11 b_w d$ .
  - b) Untuk beton ringan atau ringan pasir,  $V_n$  tidak boleh diambil lebih besar dari yang lebih kecil dari  $(0,2 - 0,07 \frac{a}{d}) f'_c b_w d$  dan  $(5,5 - 1,9 \frac{a}{d}) b_w d$
  - c) Tulangan  $A_n$  untuk menahan momen terfaktor
    - a.  $[V_u a_v + N_{uc}(h - d)]$  harus dihitung menurut SNI 03 – 2847 – 2013 pasal 10.2 dan pasal 10.3
  - d) Tulangan  $A_n$  untuk menahan gaya Tarik terfaktor  $N_{uc}$  harus ditentukan dari  $\phi A_n f_y \geq N_{uc}$ . Gaya tarik terfaktor,  $N_u$  tidak boleh diambil kurang dari  $0,2V_u$  kecuali bila ketentuan dibuat untuk menghindari gaya Tarik.  $N_{uc}$  harus dianggap sebagai beban hidup bahkan bila mana Tarik yang dihasilkan dari kekangan rangkai, susut, atau perubahan suhu.
  - e) Luas tulangan Tarik utama  $A_{sc}$  tidak boleh kurang dari yang lebih besar dari  $(A_f + A_n)$  dan  $(\frac{2A_{vf}}{3} + A_n)$
4. Luas total  $A_h$ , sengkang tertutup atau pengikat parallel terhadap tulangan Tarik utama tidak boleh kurang dari  $0,5(A_{sc} - A_n)$ , Distribusikan  $A_h$  secara merata dalam  $(2/3)d$  bersebelahan dengan tulangan tarik utama
5.  $\frac{A_{sc}}{bd}$  tidak boleh kurang dari  $0,04 \frac{f'_c}{f_y}$
6. Pada muka depan konsol pendek, tulangan tarik utama  $A_s$  harus diangkur dengan salah satu dari berikut:
  - a) Dengan las struktur pada batang tulangan transversal dengan sedikit berukuran sama; las didesain untuk mengembangkan  $f_y$  tulangan Tarik utama

- b) Dengan pembengkokan tulangan tarik utama menjadi bentuk tertutup horizontal atau
  - c) Dengan suatu cara pengangkurkan baik lainnya
7. Luas tumpuan pada konsol pendek tidak boleh menonjol melampaui bagian lurus batang tulangan tarik utama  $A_s$ , ataupun menonjol melampaui muka dalam dari batang tulangan angkur transversal (bila batang tulangan tersebut disediakan)

#### 4.5.4.2 Penulangan Konsol pada Kolom

##### a. Data perencanaan

$V_u$  output analisis dengan software SAP2000 = 136926,14N

Dimensi Balok = 40/60

Dimensi konsol:

$b_w$  = 400 mm

$h$  = 300 mm

$d$  =  $300 - 40 - 25 = 285$  mm

$f_c'$  = 25 MPa

$f_y$  = 400 MPa

$a_v$  = 150 mm

Ketentuan yang digunakan dalam perencanaan konsol pendek sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8. Untuk dapat menggunakan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8, maka geometri konsol pendek serta gaya yang terjadi pada konsol pendek tersebut harus sesuai dengan yang diisyaratkan oleh SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8.1. Syarat tersebut adalah sebagai berikut:

- $a_v/d = 150 / 235 = 0,58 < 1 \dots \text{OK}$
- $N_{uc} \geq 0,2V_u$   
 $N_{uc} = 0,2 \times 136926,14 = 27385,228$  N

Sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.1, syarat nilai kuat geser  $V_n$  untuk beton normal adalah

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{136926,14}{0,75} = 182568,187 \text{ N}$$

##### b. Menentukan luas tulangan geser friksi

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8.3.2 (a), untuk beton normal, kuat geser  $V_n$  tidak boleh diambil lebih besar daripada:

$$a) 0,2 f_c' \times b_w \times d = 0,2 \times 25 \times 400 \times 285$$

$$= 770000 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}$$

$$b) (3,3 + 0,08 f_c') b_w d = (3,3 + 0,08 \times 25) 400 \times 285$$

$$= 816200 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}$$

$$c) 11 b_w d = 11 \times 400 \times 285$$

$$= 1694000 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}$$

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \times \mu}$$

$$= \frac{182568,187}{400 \times 1,4}$$

$$= 326,015 \text{ mm}^2$$

### c. Luas tulangan lentur

Perletakan yang akan digunakan dalam konsol pendek ini adalah sendi-rol yang mengijinkan adanya deformasi arah lateral ataupun horizontal, maka gaya horizontal akibat susut jangka panjang dan deformasi rangka balok tidak boleh terjadi. Maka sesuai dengan SNI 03-2847 pasal 11.8.3.4, akan digunakan  $N_{uc}$  minimum.

$$M_u = V_{ua} \times a + N_{uc} (h-d)$$

$$= (182568,187 \times 150) + (27385,228 \times (450-385))$$

$$= 29165267,87 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,823$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times b \times d x^2} = \frac{29165267,87}{0,8 \times 400 \times 385^2} = 0,615$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{18,823} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,823 \times 0,615}{400}} \right) = 0,00156$$

$\rho = 0,00156 < \rho_{\text{min}} = 0,0035$  , maka dipakai  $\rho = 0,0035$

$$A_{f1} = \frac{Mu}{0,85 \times \phi \times f_y \times d}$$

$$A_{f1} = \frac{29165267,87}{0,85 \times 0,75 \times 400 \times 385} = 297,07 \text{ mm}^2$$

$$A_{f2} = \rho \times b \times d$$

$$A_{f2} = 0,0035 \times 400 \times 385$$

$$A_{f2} = 539 \text{ mm}^2$$

Jadi dipakai  $A_f = 297,07 \text{ mm}^2$

Tulangan pokok As:

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\phi \times f_y} = \frac{27385,228}{0,75 \times 400} = 91,284 \text{ mm}^2$$

**d. Pemilihan tulangan yang digunakan**

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.5

$$A_{sc} = A_f + A_n = 297,07 + 539 = 836,07 \text{ mm}^2$$

$$A_{sc} = \left( \frac{2 \times A_{vf}}{3} + A_n \right) = \left( \frac{2 \times 836,07}{3} \right) + 91,284 = 648,664 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.5

$$A_{sc \text{ min}} = 0,04 \left( \frac{f_c'}{f_y} \right) b \times d = 0,04 \left( \frac{25}{400} \right) 400 \times 385 = 385 \text{ mm}^2$$

Maka,  $A_{sc} = 836,07 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah tulangan, } n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{sc}}{A_s D_{25}} \\ &= \frac{836,07}{490,8739} = 1,703 \approx 2 \text{ buah}\end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan utama 2D25 ( $A_s = 981,748 \text{ mm}^2$ )

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.4 luas total sengkang tertutup tidak boleh kurang dari:

$$A_h = 0,5 (A_{sc} - A_n) = 0,5 (836,07 - 91,284) = 372,4 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan sengkang 3D13 ( $A_v = 398 \text{ mm}^2$ ) dan dipasang sepanjang  $(2/3) d = 256,67 = 250 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah tulangan, } n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_h}{A_s D_{13}} \\ &= \frac{372,4}{398} = 0,93 \approx 1 \text{ buah}\end{aligned}$$

#### **e. Luas pelat landasan:**

$$V_u = \emptyset \times (0,85) \times f_c \times A_l$$

$$A_l = \frac{182568,187}{0,85 \times 25 \times 0,75} = 11455,26 \text{ mm}^2$$

dipakai pelat landasan  $300 \times 200 \text{ mm}^2 = 60000 \text{ mm}^2$  (tebal 15 mm)

#### **4.5.4.3 Perhitungan Sambungan Balok Kolom**

Sistem sambungan antara balok dengan kolom pada perencanaan memanfaatkan panjang penyaluran dengan tulangan balok, terutama tulangan pada bagian bawah yang nantinya akan dijangkarkan atau dikaitkan ke atas.

Panjang penyaluran diasumsikan menerima tekan dan juga menerima tarik, sehingga dalam perencanaan dihitung dalam dua kondisi, yaitu kondisi tarik dan kondisi tekan.

#### **a. Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan**

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2 maka :

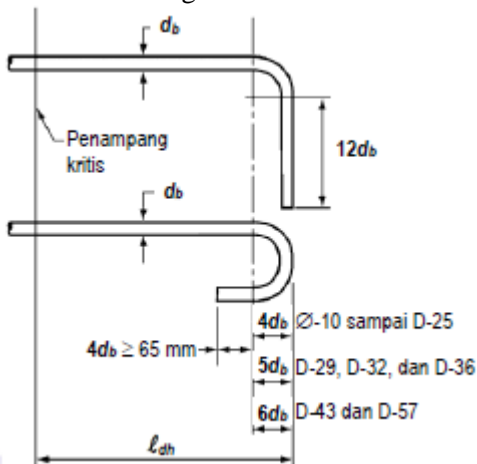
$$\begin{aligned}
 \ell_{dc} &\geq (0,24fy/\lambda\sqrt{f'c})db \\
 &\geq (0,24 \times 400/1\sqrt{25})19 \\
 &\geq 364,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \ell_{dc} &\geq (0,043fy)db \\
 &\geq (0,043 \times 400)19 \\
 &\geq 326,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai  $\ell_d = 364,8 \approx 370 \text{ mm}$ .

#### b. Panjang penyaluran kait standar dalam tarik

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.1 panjang penyaluran dalam kondisi tarik dengan kait standar harus ditentukan sebagai berikut:



**Gambar 4. 107** Detail batang tulangan dengan kait standar

- $\ell_{dh} \geq 8 d_b = 8 \times 19 = 152 \text{ mm}$
- $\ell_{dh} \geq 150 \text{ mm}$
- $\ell_{dh} = (0,24\psi_e f_y / \lambda \sqrt{f'c}) d_b$



$$= (0,24 \times 1 \times 400 / 1 \times \sqrt{25}) \times 19 = 364,8 \text{ mm}$$

Maka dipakai  $\ell_{dh} = 370 \text{ mm}$  dengan bengkokan minimum panjang penyaluran yang masuk kedalam kolom dengan panjang kait standar  $90^\circ$  sebesar  $12 \text{ db} = 12 \times 19 = 228 \text{ mm} \approx 230 \text{ mm}$

#### **4.5.5 Perencanaan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak**

##### **4.5.5.1 Perencanaan Konsol pada Balok Induk**

Pada perencanaan sambungan antara balok induk dan balok anak dipergunakan sambungan dengan menggunakan konsol pendek. Balok anak diletakan pada konsol yang berada pada balok induk yang kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada balok induk tersebut tersebut mengikuti persyaratan yang diatur dalam SNI-03-2847-2013 Pasal 11.8 mengenai konsol pendek.

##### **4.5.5.2 Penulangan Konsol pada Balok Induk**

###### **a. Data perencanaan**

$V_u$  pada balok anak = 20538,81N

Dimensi Balok Anak = 20/30

Dimensi konsol:

$b_w = 200 \text{ mm}$

$h = 300 \text{ mm}$

$d = 300 - 40 - 22 = 238 \text{ mm}$

$f_c' = 25 \text{ MPa}$

$f_y = 400 \text{ MPa}$

$a_v = 100 \text{ mm}$

Ketentuan yang digunakan dalam perencanaan konsol pendek sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8. Untuk dapat menggunakan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8, maka geometri konsol pendek serta gaya yang terjadi pada konsol pendek tersebut harus sesuai dengan yang diisyaratkan oleh SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8.1. Syarat tersebut adalah sebagai berikut:

- $a_v/d = 100 / 238 = 0,42 < 1 \dots \text{OK}$

- $N_{uc} \geq 0,2 V_u$

$$N_{uc} = 0,2 \times 20538,81 = 4107,76 \text{ N}$$

Sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.1, syarat nilai kuat geser

$V_n$  untuk beton normal adalah

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{20538,81}{0,75} = 27385,08 \text{ N}$$

### **b. Menentukan luas tulangan geser friksi**

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8.3.2 (a), untuk beton normal, kuat geser  $V_n$  tidak boleh diambil lebih besar daripada:

$$\begin{aligned} \text{d) } 0,2 f_c' \times b_w \times d &= 0,2 \times 25 \times 200 \times 238 \\ &= 238000 \text{ N} > V_n \dots \text{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e) } (3,3 + 0,08 f_c') b_w d &= (3,3 + 0,08 \times 25) 200 \times 238 \\ &= 252280 \text{ N} > V_n \dots \text{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{f) } 11 b_w d &= 11 \times 200 \times 238 \\ &= 523600 \text{ N} > V_n \dots \text{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{vf} &= \frac{V_n}{f_y \times \mu} \\ &= \frac{27385,08}{400 \times 1,4} \\ &= 48,9 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

### **c. Luas tulangan lentur**

Perletakan yang akan digunakan dalam konsol pendek ini adalah sendi-rol yang mengijinkan adanya deformasi arah lateral ataupun horizontal, maka gaya horizontal akibat susut jangka panjang dan deformasi rangka balok tidak boleh terjadi. Maka sesuai dengan SNI 03-2847 pasal 11.8.3.4, akan digunakan  $N_{uc}$  minimum.

$$\begin{aligned} M_u &= V_{ua} \times a + N_{uc} (h-d) \\ &= (20538,81 \times 100) + (4107,76 \times (200-238)) \\ &= 1897786,12 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,823$$

$$R_n = \frac{Mu}{0,8 \times b \times d x^2} = \frac{1897786,12}{0,8 \times 200 \times 238^2} = 0,21$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,823} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,823 \times 0,21}{400}} \right) = 0,0005 \end{aligned}$$

$\rho = 0,0005 < \rho_{\min} = 0,0035$  , maka dipakai  $\rho = 0,0035$

$$A_{f1} = \frac{Mu}{0,85 \times \phi \times f_y \times d}$$

$$A_{f1} = \frac{1897786,12}{0,85 \times 0,75 \times 400 \times 238} = 31,27 \text{ mm}^2$$

$$A_{f2} = \rho \times b \times d$$

$$A_{f2} = 0,0035 \times 200 \times 238$$

$$A_{f2} = 166,6 \text{ mm}^2$$

Jadi dipakai  $A_f = 166,6 \text{ mm}^2$

Tulangan pokok  $A_s$ :

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\phi \times f_y} = \frac{4107,76}{0,75 \times 400} = 13,692 \text{ mm}^2$$

#### **d. Pemilihan tulangan yang digunakan**

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.5

$$A_{sc} = A_f + A_n = 166,6 + 13,692 = 180,292 \text{ mm}^2$$

$$A_{sc} = \left( \frac{2 \times A_{vf}}{3} + A_n \right) = \left( \frac{2 \times 48,9}{3} \right) + 13,692 = 46,3 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.5

$$A_{sc \min} = 0,04 \left( \frac{f_c'}{f_y} \right) b \times d = 0,04 \left( \frac{25}{400} \right) 200 \times 238 = 119 \text{ mm}^2$$

Maka,  $A_{sc} = 119 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah tulangan, } n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{sc}}{A_s D22} \\ &= \frac{119}{380,13} = 0,31 \approx 2 \text{ buah}\end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan utama 2D22 ( $A_s = 760,265 \text{ mm}^2$ )

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.4 luas total sengkang tertutup tidak boleh kurang dari:

$$A_h = 0,5 (A_{sc} - A_n) = 0,5 (119 - 13,692) = 52,654 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan sengkang 2D13 ( $A_v = 265,46 \text{ mm}^2$ ) dan dipasang sepanjang  $(2/3) d = 158,67 = 150 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah tulangan, } n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_h}{A_s D13} \\ &= \frac{52,654}{265,46} = 0,2 \approx 1 \text{ buah}\end{aligned}$$

#### e. Luas pelat landasan:

$$V_u = \emptyset \times (0,85) \times f_c \times A_l$$

$$A_l = \frac{20538,81}{0,85 \times 25 \times 0,75} = 1288,71 \text{ mm}^2$$

dipakai pelat landasan  $150 \times 150 \text{ mm}^2 = 22500 \text{ mm}^2$  (tebal 15 mm)

#### 4.5.5.3 Perhitungan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak

Sistem sambungan antara balok induk dengan balok anak pada perencanaan ini memanfaatkan panjang penyaluran dengan tulangan balok anak, terutama tulangan pada bagian atas yang nantinya akan dijangkarkan atau dikaitkan ke bawah.

Panjang penyaluran diasumsikan menerima tekan dan juga menerima tarik, sehingga dalam perencanaan dihitung dalam dua kondisi, yaitu kondisi tarik dan kondisi tekan.

##### a. Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2 maka :

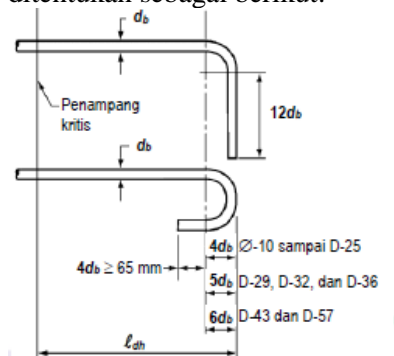
$$\begin{aligned}l_{dc} &\geq (0,24 f_y / \lambda \sqrt{f'c}) d_b \\ &\geq (0,24 \times 400 / 1 \sqrt{25}) 19 \\ &\geq 364,8 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \ell_{dc} &\geq (0,043fy)db \\
 &\geq (0,043 \times 400)19 \\
 &\geq 326,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai  $\ell_d = 364,8 \approx 370 \text{ mm}$ .

### b. Panjang penyaluran kait standar dalam tarik

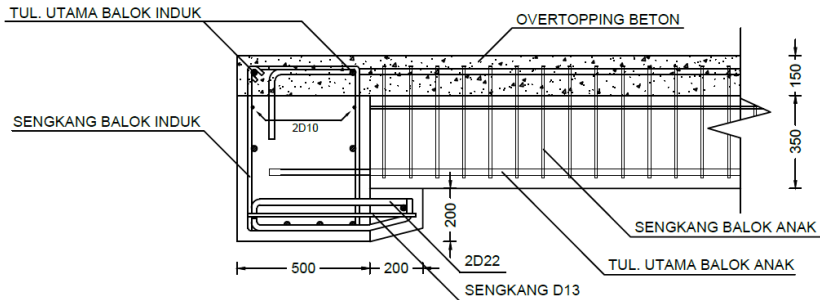
Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.1 panjang penyaluran dalam kondisi tarik dengan kait standar harus ditentukan sebagai berikut:



**Gambar 4. 38** Detail batang tulangan dengan kait standar

- $\ell_{dh} \geq 8 d_b = 8 \times 19 = 152 \text{ mm}$
- $\ell_{dh} \geq 150 \text{ mm}$
- $\ell_{dh} = (0,24\psi_e f_y / \lambda \sqrt{f'_c}) d_b$   
 $= (0,24 \times 1 \times 390 / 1 \times \sqrt{30}) \times 22 = 364,8 \text{ mm}$

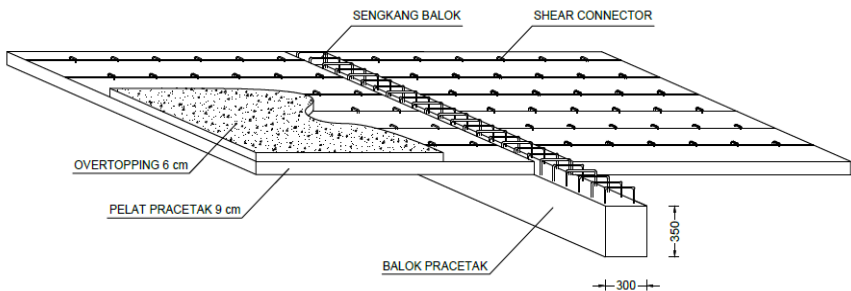
Maka dipakai  $\ell_{dh} = 370 \text{ mm}$  dengan bengkokan minimum panjang penyaluran yang masuk kedalam kolom dengan panjang kait standar  $90^\circ$  sebesar  $12 d_b = 12 \times 19 = 228 \text{ mm} \approx 230 \text{ mm}$



**Gambar 4. 39**Panjang Penyaluran Balok Anak

#### 4.5.6 Perencanaan Sambungan Pelat dan Balok

Sambungan antara balok dengan pelat mengandalkan adanya tulangan tumpuan yang dipasang memanjang melintas tegak lurus di atas balok (menghubungkan stud – stud pelat). Selanjutnya pelat pracetak yang sudah dihubungkan stud-studnya tersebut diberi overtopping dengan cor setempat.



**Gambar 4. 40**Panjang Penyaluran Pelat

##### 4.5.6.1 Panjang Penyaluran Tulangan Pelat Type A

Bedasarkan perhitungan pada bab sebelumnya, didapatkan hasil penulangan pada pelat type A sebagai berikut:

$$d_b = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Arah X} - A_s \text{ perlu} : 400,75 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ terpasang} : 530,66 \text{ mm}^2$$

Arah Y – As perlu : 209 mm<sup>2</sup>  
 As terpasang : 265,33 mm<sup>2</sup>

a. Penyaluran Arah X

- Kondisi tarik

$$\ell_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{12 f_y \alpha \beta \lambda}{25 \sqrt{f'_c}}$$

$$\alpha \beta \leq 1,7, \dots \text{SNI 03 - 2847 - 2013 Pasal 12.2.4}$$

Dengan:

$\alpha$  : faktor lokasi penulangan = 1

$\beta$  : faktor pelapis = 1

$\lambda$  : faktor beton normal = 1

$$\frac{\ell_d}{12} = \frac{12 \times 400 \times 1 \times 1 \times 1}{25 \sqrt{25}}$$

$$\ell_d = 460,8 \text{ mm}$$

Dipakai  $\ell_d = 460 \text{ mm}$

- Kondisi tekan

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3

$$\ell_d = \ell_{db} \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}}$$

$$\ell_d \geq 200 \text{ mm}$$

$$\ell_d \geq 0,043 d_b f_y$$

$$\geq 0,043 \times 10 \times 400 = 172 \text{ mm}$$

$$\ell_{db} = \frac{d_b \times f_y}{4 \times \sqrt{f'_c}} = \frac{10 \times 400}{4 \times \sqrt{25}} = 200 \text{ mm}$$

$$\ell_d = 200 \times \frac{400,75}{530,66} = 151,04 \text{ mm}$$

Dipakai  $\ell_d = 175 \text{ mm}$

b. Penyaluran Arah Y

- Kondisi tarik

$$\ell_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{12 f_y \alpha \beta \lambda}{25 \sqrt{f_c'}}$$

$$\alpha \beta \leq 1,7 \dots \text{SNI 03 - 2847 - 2013 Pasal 12.2.4}$$

Dengan:

$\alpha$  : faktor lokasi penulangan = 1

$\beta$  : faktor pelapis = 1

$\lambda$  : faktor beton normal = 1

$$\frac{\ell_d}{12} = \frac{12 \times 400 \times 1 \times 1 \times 1}{25 \sqrt{25}}$$

$$\ell_d = 460,08 \text{ mm}$$

Dipakai  $\ell_d = 460 \text{ mm}$

- Kondisi tekan

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3

$$\ell_d = \ell_{db} \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}}$$

$$\ell_d \geq 200 \text{ mm}$$

$$\ell_d \geq 0,043 d_b f_y$$

$$\geq 0,043 \times 10 \times 400 = 172 \text{ mm}$$

$$\ell_{db} = \frac{d_b \times f_y}{4 \times \sqrt{f_c'}} = \frac{12 \times 400}{4 \times \sqrt{25}} = 200 \text{ mm}$$

$$\ell_d = 200 \times \frac{209}{265,33} = 157,54 \text{ mm}$$

Dipakai  $\ell_d = 175 \text{ mm}$

## 4.6 Perencanaan Pondasi

### 4.6.1 Umum

Perencanaan pondasi merupakan perencanaan struktur bawah bangunan. Pondasi pada umumnya berlaku sebagai komponen struktur pendukung bangunan yang terbawah



dan berfungsi sebagai elemen terakhir yang meneruskan beban ketanah. Pondasi pada gedung ini direncanakan memakai pondasi tiang pancang jenis *Prestressed Concrete Spun Piles*. Pembahasan pada bab perencanaan pondasi meliputi perencanaan jumlah tiang pancang yang dibutuhkan, perencanaan poer (*pile cap*) dan perencanaan sloof (*Tie beam*).

#### 4.6.2 Data Tanah

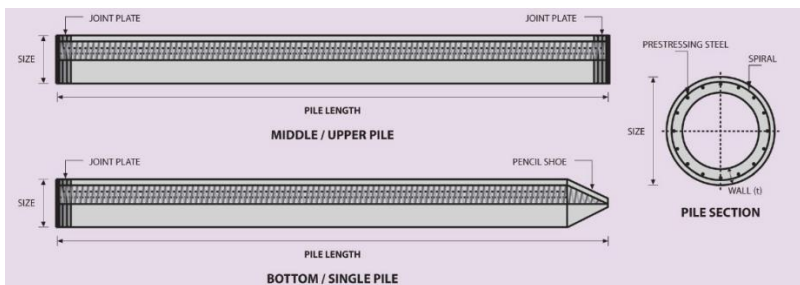
Data tanah diperlukan untuk merencanakan pondasi yang sesuai dengan jenis dan kemampuan daya dukung tanah tersebut. Data tanah didapatkan melalui penyelidikan tanah pada lokasi dimana struktur tersebut akan dibangun. Dalam hal ini data tanah yang digunakan untuk perencanaan pondasi gedung Laboratorium Teknik Industri ITS adalah data tanah di lokasi tersebut.

#### 4.6.3 Kriteria Design

##### 4.6.3.1 Spesifikasi Tiang Pancang

Pada perencanaan pondasi gedung ini, digunakan pondasi tiang pancang jenis *Prestressed Concrete Spun Piles* produk dari PT Wijaya Karya Beton.

1. Tiang pancang beton pracetak (*precast concrete pile*) dengan bentuk penampang bulat.
2. Mutu beton tiang pancang  $f_c' = 52$  MPa atau K-600 ( $\text{Cube } 600\text{kg/cm}^2$ ).



**Gambar 4. 41** *Prestressed Concrete Spun Pile*

Berikut ini, spesifikasi tiang pancang yang akan digunakan,

- *Size* : 600 mm

• <i>Thickness Wall</i>	: 100 mm
• <i>Cross Section</i>	: 15780,8 cm <sup>2</sup>
• <i>Class</i>	: A1
• <i>Bending momen crack</i>	: 17 tm
• <i>Bending momen ultimate</i>	: 25,5 tm
• <i>Allowable Compression</i>	: 252,7 ton
• <i>Length of Pile</i>	: 6 – 24 m

#### 4.6.4 Daya Dukung

##### 4.6.4.1 Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Daya dukung pada pondasi tiang pancang ditentukan oleh dua hal, yaitu daya dukung perlawanan tanah dari unsur dasar tiang pondasi ( $Q_p$ ) dan daya dukung tanah dari unsur lekatan lateral tanah ( $Q_s$ ). Sehingga daya dukung total dari tanah dapat dirumuskan:

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Di samping peninjauan berdasarkan kekuatan tanah tempat pondasi tiang pancang ditanam, daya dukung suatu tiang juga harus ditinjau berdasarkan kekuatan bahan tiang pancang tersebut.

Hasil daya dukung yang menentukan yang dipakai sebagai daya dukung ijin tiang. Perhitungan daya dukung dapat ditinjau dari dua keadaan, yaitu daya dukung tiang pancang tunggal yang berdiri sendiri dan daya dukung tiang pancang dalam kelompok. Perhitungan daya dukung tiang pancang ini dilakukan berdasarkan hasil uji *SPT* menurut Luciano Decourt.

$$Q_L = Q_p + Q_s$$

Dimana:

$Q_L$  = Daya dukung tanah maksimum pada pondasi

$Q_p$  = *Resistance ultime* di dasar pondasi

$Q_s$  = *Resistance ultime* akibat lekatan lateral

$Q_p = q_p \cdot A_p = (N_p \cdot K) \cdot A_p$

Dimana :

$A_p$  = Luas penampang ujung tiang

$N_p$  = Harga rata-rata *SPT* 4B diatas dasar pondasi dan 4B dibawah dasar pondasi.

$K$  = Koefisien karakteristik tanah

12 t/m <sup>2</sup> = 117,7 kPa,	(untuk lempung)
20 t/m <sup>2</sup> = 196 kPa,	(untuk lanau berlempung)
25 t/m <sup>2</sup> = 245 kPa,	(untuk lanau berpasir)
40 t/m <sup>2</sup> = 392 kPa,	(untuk pasir)

$Q_p$  = Tegangan di ujung tiang

$Q_s = q_s \cdot A_s = (N_s/3 + 1) \cdot A_s$

Dimana :

$q_s$  = Tegangan akibat lekatan lateral dalam t/m<sup>2</sup>

$N_s$  = Harga rata-rata SPT sepanjang tiang yang tertanam,  
dengan batasan ;  $3 \leq N \leq 50$

$A_s$  = Keliling x panjang tiang yang terbenam

Harga N di bawah muka air tanah harus dikoreksi menjadi  
 $N'$  berdasarkan perumusan sebagai berikut (Terzaghi & Peck):

$N' = 15 + 0,5 (N-15)$

Dimana:

$N$  = Jumlah pukulan kenyataan di lapangan untuk di bawah  
muka air tanah

#### 4.6.4.2 Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

Untuk daya dukung pondasi group, terlebih dahulu dikoreksi  
dengan apa yang disebut dengan koefisien efisiensi  $C_e$ .

$$Q_{L \text{ (group)}} = Q_{L \text{ (1 tiang)}} \times n \times \eta$$

dengan  $n$  = jumlah tiang dalam group

Daya dukung pondasi kelompok menurut Converse Labarre  
adalah :

Efisiensi :

$$(\eta) = 1 - \arctg \left( \frac{D}{S} \right) \left[ \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right]$$

Dimana :

$D$  = diameter tiang pancang

$S$  = jarak antar tiang pancang

$m$  = jumlah baris tiang pancang dalam group

$n$  = jumlah kolom tiang pancang dalam group

#### 4.6.4.3 Repartisi Beban di Atas Tiang Berkelompok

Bila di atas tiang-tiang dalam kelompok yang disatukan oleh sebuah kepala tiang (*poer*) bekerja beban-beban vertikal (V), horizontal (H), dan momen (M), maka besarnya beban vertical ekuivalen ( $P_v$ ) yang bekerja pada sebuah tiang adalah

$$P_{\max} = \frac{\sum V}{n} + \frac{M_x \cdot y_{\max}}{\sum y_i^2} + \frac{M_y \cdot x_{\max}}{\sum x_i^2}$$

Dimana :

$P_i$  = Total beban yang bekerja pada tiang yang ditinjau

$y_{\max}$  = jarak maksimum tiang yang ditinjau dalam arah y

$x_{\max}$  = jarak maksimum tiang yang ditinjau dalam arah x

$\sum x_i^2$  = jumlah kuadrat jarak tiang pancang terhadap as poerarah x

$\sum y_i^2$  = jumlah kuadrat jarak tiang pancang terhadap as poer arah y

nilai x dan y positif jika arahnya sama dengan arah e, dan negatif bila berlawanan dengan arah e.

#### 4.6.5 Perhitungan Tiang Pancang

Untuk perencanaan pondasi diambil gaya-gaya dalam yang paling maksimum pada perletakan kolom sehingga untuk pondasi kolom yang lain direncanakan tipikal.

Dari hasil analisa struktur dengan menggunakan program bantu SAP 2000 didapat gaya-gaya dalam pada perletakan kolom dengan kombinasi **1,0D + 1,0L** sebagai berikut:

$P$  = 483,783 t

$M_{ux}$  = 14,983 tm

$M_{uy}$  = 15,916 tm

$H_x$  = 3,604 t

$H_y$  = 3,776 t

Dari hasil analisa struktur dengan menggunakan program bantu SAP 2000 didapat gaya-gaya dalam pada perletakan kolom dengan kombinasi **1,2D + 1,0L + 1,0Ex** sebagai berikut:

$P$  = 482,88 t

$M_{ux}$  = 9,97 tm

$$\begin{aligned} M_{uy} &= 19,96 \text{ tm} \\ H_x &= 8,45 \text{ t} \\ H_y &= 5,1 \text{ t} \end{aligned}$$

#### 4.6.5.1 Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Dari data tanah didapatkan hasil perhitungan untuk kedalaman 21 m dengan diameter tiang pancang 600 mm (lihat Tabel 9.1). Dari data tanah tersebut kemudian dihitung menggunakan persamaan *Luciano Decourt*:

$$Q_L = Q_p + Q_s$$

Dimana:

$$\begin{aligned} Q_p &= (N_p \times K) \times A_p \\ &= (26,64 \times 20 \times 0,283) = 150,6 \text{ t} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_s &= (N_s/3 + 1) \times A_s \\ &= (12,875/3 + 1) \times 39,584 = 209,4 \text{ t} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_L &= Q_p + Q_s \\ &= 150,6 + 209,4 = 360,12 \text{ t} \end{aligned}$$

$$Q_U = \frac{Q_L}{S_f} = \frac{360,12}{3} = 120,04 \text{ t}$$

Dari hasil  $Q_U$  yang didapatkan maka rencana jumlah tiang pancang adalah:

$$n = \frac{P_u}{Q_u} = \frac{483,783}{120,04} = 4,03 \approx 5 \text{ buah}$$

Secara lengkap perhitungan daya dukung tiang pancang tunggal disajikan dalam tabel 4.28 berikut ini:

**Tabel 4. 28**Daya dukung tiang pancang tunggal

D (m)	N- SPT	Jenis Tanah	N <sub>p</sub>	K t/m <sup>2</sup>	q <sub>p</sub> t/m <sup>2</sup>	q <sub>s</sub> t/m <sup>2</sup>	Q <sub>p</sub> Ton	Q <sub>s</sub> Ton	Q <sub>L</sub> Ton	Q <sub>ijin</sub> ton	n <sub>min</sub> Tiang
0	0	LL	1,5	20	30	2	8,48	0	8,482	2,827	171,1
3	1	LL	5	20	100	2	28,27	11,31	39,58	13,2	36,6
6	2	LL	9,58	20	191,6	2	54,19	22,61	76,81	25,6	18,89
9	3	LL	11,5	20	230	2	65,03	33,93	98,96	33	14,6

12	23	LL	14,71	20	294,28	2,67	83,2	60,32	143,5	47,8	10,1
15	50	LL	18,07	20	361,42	4,19	102,2	118,6	220,78	73,6	6,57
18	31	LL	22,43	20	448,57	4,83	126,8	164	290,82	96,94	5
21	30	LP	26,64	20	532,85	5,29	150,6	209,4	360,1	120	4,03
24	34	LL	27,78	20	555,71	5,72	157,2	258,8	416	138,6	3,5
27	50	LL	29,35	20	587,14	6,33	166	322,3	488,3	162,8	2,97
30	50	LL	34,64	20	692,85	4,1	6,83	195,9	386,4	194	2,49

Keterangan:

LL = Lanau berlempung

LP = Lanau berpasir

P = Pasir

#### 4.6.5.2 Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

Pondasi tiang pancang direncanakan dengan diameter 60cm. Jarak dari as ke as antar tiang pancang direncanakan seperti pada perhitungan di bawah ini:

- Untuk jarak antar tiang pancang:

$$2 D \leq S \leq 3 D$$

$$2 \times 60 \leq S \leq 3 \times 60$$

$$120 \text{ cm} \leq S \leq 180 \text{ cm}$$

Digunakan jarak antar tiang = 170 cm

- Untuk jarak tiang pancang:

$$1 D \leq S_1 \leq 2 D$$

$$1 \times 60 \leq S_1 \leq 2 \times 60$$

$$60 \text{ cm} \leq S_1 \leq 120 \text{ cm}$$

Digunakan jarak tiang ke tepi = 60 cm

Dimana : S = jarak antar tiang pancang

S<sub>1</sub> = jarak tiang pancang ke tepi

Dipakai : jarak antar tiang pancang (S) = 170 cm

Jarak tepi tiang pancang (S<sub>1</sub>) = 60 cm

Pada pondasi tiang grup/kelompok, terlebih dahulu dikoreksi dengan suatu faktor yaitu faktor efisiensi, yang dirumus pada persamaan di bawah ini:

$$Q_L (\text{group}) = Q_L (1 \text{ tiang}) \times \eta$$

$$(\eta) = 1 - \arctg \left( \frac{D}{S} \right) \left[ \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right]$$

Dimana :

D = diameter tiang pancang

S = jarak antar tiang pancang

m = jumlah baris tiang pancang dalam 1 baris

n = jumlah kolom tiang pancang

Efisiensi :

$$(\eta) = 1 - \arctg \left( \frac{600}{1700} \right) \left[ \frac{(3-1)3 + (3-1)3}{90 \times 3 \times 3} \right] = 0,85$$

Sehingga :

$$Q_{ijin \text{ grup}} = \eta \times Q_{ijin \text{ 1 tiang}} \times n$$

$$= 0,85 \times 120,04 \times 5$$

$$= 510,17 > P_u = 483,783 \text{ t}$$

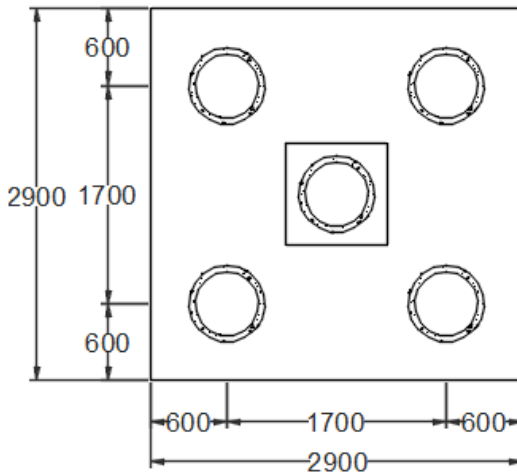
Perhitungan Beban Aksial Maksimum Pada Pondasi Kelompok

$$P_u = 483,78 \text{ ton}$$

$$Q_L (\text{groups}) = 2,9 \times 2,9 \times 1 \times 2,4 = \underline{20184 \text{ ton}}$$

$$\text{Berat total} = 503,967 \text{ ton}$$

$$Q_L (\text{groups}) = 503,967 \text{ ton} > P = 483,783 \text{ ton} \text{ .....OK!!}$$



**Gambar 4. 42** Konfigurasi rencana tiang pancang

#### 4.6.5.3 Kontrol Beban Maksimum 1 Tiang ( $P_{\max}$ )

Beban maksimum yang bekerja pada satu tiang dalam tiang kelompok dihitung berdasarkan gaya aksial dan momen yang bekerja pada tiang. Momen pada tiang dapat menyebabkan gaya tekan atau tarik pada tiang, namun yang diperhitungkan hanya gaya tekan karena gaya tarik dianggap lebih kecil dari beban gravitasi struktur, sehingga berlaku persamaan:

$$P_{\max} = \frac{\sum V}{n} + \frac{M_x \times y_{\max}}{\sum y_i^2} + \frac{M_y \times x_{\max}}{\sum x_i^2} \leq P_{ijin(tiang)}$$

Perhitungan Beban Aksial Maksimum Pada Pondasi Kelompok

- Reaksi kolom = 483780kg
- Berat poer =  $2,9 \times 2,9 \times 1 \times 2400 \times 1,2 = 20184 \text{ kg}$   
 Berat total ( $\Sigma V$ ) = 503964kg

Momen yang bekerja:

$$\begin{aligned} M_x &= M_{ux} + (H_y \times t_{poer}) = 14983 + (3604 \times 1) \\ &= 18759 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$M_y = M_{uy} + (H_x \times t_{poer}) = 15916 + (3776 \times 1)$$



$$= 19520 \text{ kgm}$$

Sehingga didapatkan :

$$P_{\max} = \frac{483780}{5} + \frac{(18759 \times 0,85)}{(4 \times 0,85^2)} + \frac{(19520 \times 0,85)}{(4 \times 0,85^2)}$$

$$= 113,553 \text{ t} \leq 120,04 \text{ t} \quad (\text{OK})$$

Kontrol beban maksimum tiang pancang akibat kombinasi beban **1,2D + 1,0L+1,0Ex**

$$P_{\max} = \frac{\sum V}{n} + \frac{M_x \times y_{\max}}{\sum y_i^2} + \frac{M_y \times x_{\max}}{\sum x_i^2} \leq P_{ijin(tiang)}$$

Perhitungan Beban Aksial Maksimum Pada Pondasi Kelompok

a. Reaksi kolom  $= 482880 \text{ kg}$

b. Berat poer  $= 2,9 \times 2,9 \times 1 \times 2400 = 20184 \text{ kg} +$

Berat total ( $\Sigma V$ )  $= 503064 \text{ kg}$

Momen yang bekerja:

$$M_x = M_{ux} + (H_y \times t_{poer}) = 9970 + (5100 \times 1)$$

$$= 15070 \text{ kgm}$$

$$M_y = M_{uy} + (H_x \times t_{poer}) = 19960 + (8450 \times 1)$$

$$= 28410 \text{ kgm}$$

Sehingga didapatkan :

$$P_{\max} = \frac{482880}{5} + \frac{(15070 \times 0,85)}{(4 \times 0,85^2)} + \frac{(28410 \times 0,85)}{(4 \times 0,85^2)}$$

$$= 109,364 \text{ t} \leq 120,04 \text{ t} \quad (\text{OK})$$

#### 4.6.5.4 Kontrol Kekuatan Tiang

Sesuai dengan spesifikasi dari PT. WIKA BETON direncanakan tiang pancang beton dengan:

- Diameter : 600 mm
- Tebal : 100 mm
- Type : A1
- Allowable compression : 252,7 t

- *Bending moment crack* : 17 tm
- *Bending moment ultimate* : 25,5 tm

Tiang pancang yang direncanakan di kontrol terhadap beberapa kriteria berikut ini:

**a. Kontrol terhadap gaya aksial**

Tiang pancang yang direncanakan dengan diameter 60 cm type A1 sesuai dengan spesifikasi dari PT.WIKA BETON, gaya aksial tidak diperkenankan melebihi 252,7 Ton.

$$P_{\max} = 113,553 \text{ t} < P_{\text{ijin}} = 252,7 \text{ ton} \quad (\text{OK})$$

**b. Kontrol terhadap gaya lateral**

Panjang jepitan kritis tanah terhadap tiang pondasi menurut metode Philipponat dimana kedalaman minimal tanah terhadap tiang pondasi didapat dari harga terbesar dari gaya-gaya berikut :

Perhitungan :

$$L_e = \text{panjang penjepitan} \\ = 3 \times 0,6 \text{ m} = 1,8 \text{ m} > 1,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Dipakai } L_e &= 1,8 \text{ m} \\ M_y &= L_e \times H_y \\ &= 1,8 \times 3,776 \text{ t} \\ &= 6,8 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$M_y \text{ (satu tiang pancang)} = \frac{6,8}{5} = 1,36 \text{ tm}$$

$$\begin{aligned} M_y &< M_{\text{bending crack}} \text{ (dari Spesifikasi WIKA BETON)} \\ 1,36 \text{ tm} &< 17 \text{ tm} \dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_x &= L_e \times H_x \\ &= 1,8 \times 3,604 \text{ t} \\ &= 6,487 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$M_y \text{ (satu tiang pancang)} = \frac{6,487}{5} = 1,3 \text{ tm}$$

$$\begin{aligned} M_y &< M_{\text{bending crack}} \text{ (dari Spesifikasi WIKA BETON)} \\ 1,3 \text{ tm} &< 17 \text{ tm} \dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

Dari kedua perhitungan momen yang telah dilakukan maka untuk tiang pancang jenis *Prestressed Concrete Spun Piles* dengan diameter 600 mm kelas A1 memenuhi persyaratan kontrol gaya lateral terhadap *Bending moment ultimate* tiang pancang.

#### 4.6.6 Perencanaan Poer Satu Kolom

Perencanaan Poer dirancang untuk meneruskan gaya dari struktur atas ke pondasi tiang pancang. Berdasarkan hal tersebut poer direncanakan harus memiliki kekuatan yang cukup terhadap geser pons dan lentur.

##### Data-data perencanaan :

- Dimensi poer ( B × L )                      = 2,9 × 2,9 m
- Tebal poer ( t )                                = 1 m
- Diameter tulangan utama                   = 25 mm
- Diameter sengkang                           = 13 mm
- Dimensi kolom                                 = 900 × 900 mm
- Tebal selimut beton                          = 40 mm
- Tinggi efektif balok poer
  - Arah x ( $d_x$ ) =  $1000 - 40 - \frac{1}{2} \times 25$                       = 947,5 mm
  - Arah y ( $d_y$ ) =  $1000 - 40 - 25 - \frac{1}{2} \times 25$                       = 922,5 mm

##### 4.6.6.1 Penulangan Poer

Untuk penulangan lentur, poer dianalisa sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom. Sedangkan beban yang bekerja adalah beban terpusat di tiang kolom yang menyebabkan reaksi pada tanah dan berat sendiri poer. Perhitungan gaya dalam pada poer didapat dengan teori mekanika statis tertentu.

$$\text{Berat poer } (q_u) = 2,9 \times 1 \times 2,4 \times 1,2 = 6,96 \text{ t/m}$$

$$P_t = 2P_{\text{maks}} = 2 \times 113,553 \text{ t} = 227,1 \text{ t}$$

$$a = \text{jarak as tiang pancang ke as poer} = 0,85 \text{ m}$$

$$b = \text{jarak as tiang pancang ke tepi poer} = 0,6 \text{ m}$$

**Penulangan arah x**

Penulangan lentur:

Momen – momen yang bekerja:

$$\begin{aligned} M_{ux} &= (P_t \times a) - (1/2 \times q \times (a + b)^2) \\ &= (227,1 \times 0,75) - (1/2 \times 6,96 \times (0,75 + 0,6)^2) \\ &= 198,053 \text{ tm} = 1980532200 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 25}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,027 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \quad \rho_b = 0,75 \times 0,027 = 0,02$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,823$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times 2900 \times d x^2} = \frac{1980532200}{0,8 \times 2900 \times 947,5^2} = 0,95$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,823} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,823 \times 0,95}{400}} \right) = 0,0024 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} > \rho_{\text{perlu}}$$

maka dipakai  $\rho = 0,0035$

Tulangan lentur yang dibutuhkan:

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d = 0,0035 \times 2900 \times 947,5 = 9617,12 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_s \text{ D25}}$$

$$= \frac{9617,12}{490,87} = 19,6 \approx 20 \text{ buah}$$

Jarak tulangan,  $S = 2900/19 = 161,11 \text{ mm}$

Maka untuk arah X digunakan tulangan D25-150mm

### Penulangan arah y

Penulangan lentur:

Momen – momen yang bekerja:

$$\begin{aligned} M_{ux} &= (P_i \times a) - (1/2 \times q \times (a + b)^2) \\ &= (227,1 \times 0,85) - (1/2 \times 6,96 \times (0,75 + 0,6)^2) \\ &= 198,056 \text{ tm} = 1980567200 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 25}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,027 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \quad \rho_b = 0,75 \times 0,027 = 0,02$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,823$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times 2900 \times d x^2} = \frac{1980567200}{0,8 \times 2900 \times 922,5^2} = 1,003$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,823} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,823 \times 1,003}{400}} \right) = 0,0025 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} > \rho_{\text{perlu}}$$

maka dipakai  $\rho = 0,0035$

Tulangan lentur yang dibutuhkan:

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d = 0,0035 \times 2900 \times 922,5 = 9363,375 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ D25}} \\ &= \frac{9363,375}{490,87} = 19,08 \approx 20 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = 2900/19 = 152,63 \text{ mm}$$

Maka untuk arah Y digunakan tulangan D25-150mm

#### 4.6.6.2 Kontrol Geser Pons Pada Pile Cap

Perencanaan pile cap harus memenuhi persyaratan kekuatan gaya geser nominal beton yang harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Hal ini sesuai yang disyaratkan pada SNI03-2847-2013 pasal 11.11.2.1 Kuat geser yang disumbangkan beton diambil yang terkecil dari:

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \lambda \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

SNI03-2847-2013 pasal 11.11.2.1.a

$$V_c = 0,083 \times \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o}\right) \lambda \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

SNI03-2847-2013 pasal 11.11.2.1.b

$$V_c = 0,33 \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

SNI 03-2847-2013 pasal 11.11.2.1.c

Dimana:

$\beta$  = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek beton dari daerah beban terpusat atau reaksi = 1

$b_o$  = keliling dari penampang kritis pada pile cap

$$b_o = 2(b_k + d) + 2(h_k + d)$$

dimana:

$b_k$  = lebar penampang kolom

$h_k$  = tinggi penampang kolom

$d$  = tebal efektif pile cap

$$b_o = 2 (900 + 947,5) + 2 (900 + 922,5) \\ = 7390 \text{ mm}$$

$$\beta_c = \frac{900}{900} = 1$$

$\alpha_s = 20$ , untuk kolom eksterior

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times 1 \times \sqrt{25} \times 7390 \times 947,5 = 17855163,8 \text{ N} = 1785,51 \text{ t}$$

$$V_c = 0,083 \times \left(\frac{20 \times 947,5}{7390}\right) \times 1 \times \sqrt{25} \times 7390 \times 947,5 = 7451376,88 \text{ N} \\ = 745,14 \text{ t}$$

$$V_c = 0,33 \times 1 \times \sqrt{25} \times 7390 \times 947,5 = 111553341,3 \text{ N} = 1155,33 \text{ t}$$

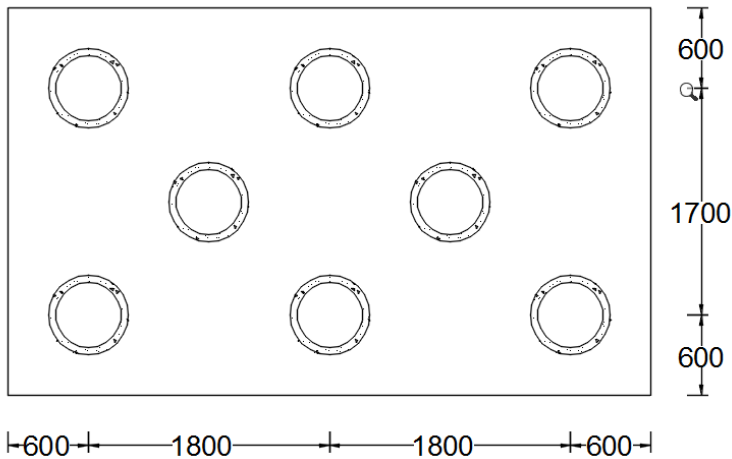
Diambil yang terkecil  $V_c = 745,14 \text{ t}$

$$\phi V_c = 0,75 \times 745,14 \text{ t} = 558,853 \text{ t} \\ = 558,85 \text{ ton} > P_{u \text{ kolom}} = 387,024 \text{ t} \\ = 581,646 \text{ ton} > 387,024 \text{ ton} \dots\dots \text{OK}$$

Sehingga ketebalan dan ukuran pile cap memenuhi syarat terhadap geser ponds.

#### 4.6.7 Perencanaan Poer Dua Kolom

Perencanaan Poer dirancang untuk meneruskan gaya dari struktur atas ke pondasi tiang pancang. Berdasarkan hal tersebut poer direncanakan harus memiliki kekuatan yang cukup terhadap geser pons dan lentur.



**Gambar 4. 43** Konfigurasi Poer dengan Dua Kolom

**Data-data perencanaan :**

- Dimensi poer (  $B \times L$  ) = 2,9  $\times$  4,8 m
- Tebal poer (  $t$  ) = 1 m
- Diameter tulangan utama = 25 mm
- Diameter sengkang = 13 mm
- Dimensi kolom = 900  $\times$  900 mm
- Tebal selimut beton = 40 mm
- Tinggi efektif balok poer
  - Arah x ( $d_x$ ) =  $1000 - 40 - \frac{1}{2} \times 25$  = 947,5 mm
  - Arah y ( $d_y$ ) =  $1000 - 40 - 25 - \frac{1}{2} \times 25$  = 922,5 mm

**4.6.7.1 Penulangan Poer**

Untuk penulangan lentur, poer dianalisa sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada titik berat. Sedangkan beban yang bekerja adalah beban terpusat di tiang kolom yang menyebabkan reaksi pada tanah dan berat sendiri poer. Perhitungan gaya dalam pada poer didapat dengan teori mekanika statis tertentu.

$$\text{Berat poer } (q_u) = 4,8 \times 1 \times 2,4 = 11,52 \text{ t/m}$$



$P_u = 1,2$   $P_t = 1,2 \times 113,553 \text{ t} = 136,263 \text{ t}$   
 $a = \text{jarak as tiang pancang ke as poer} = 0,85 \text{ m}$   
 $b = \text{jarak as tiang pancang ke tepi poer} = 0,6 \text{ m}$

### Penulangan arah x

Penulangan lentur:

Momen – momen yang bekerja:

$$\begin{aligned}
 M_{ux} &= (P_u \times a) - (1/2 \times q \times (a + b)^2) \\
 &= (2 \times 136,263 \times 0,85) - (1/2 \times 11,52 \times (0,85 + 0,6)^2) \\
 &= 219,537 \text{ tm} = 2195367000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\beta_1 = 0,836$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 0,836 \times 25}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,026
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,026 = 0,0195$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,823$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times 4800 \times d x^2} = \frac{2195367000}{1 \times 4800 \times 947,5^2} = 0,636$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{18,823} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,823 \times 0,636}{400}} \right) = 0,0022
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} > \rho_{\text{perlu}}$$

maka dipakai  $\rho = 0,0035$

Tulangan lentur yang dibutuhkan:

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d = 0,0035 \times 2900 \times 947,5 = 9617,125 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ D25}}} \\ &= \frac{9617,125}{490,87} = 19,5 \approx 20 \text{ buah}\end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = 2900/20 = 145 \text{ mm}$$

Maka untuk arah X digunakan tulangan D25-140mm

### Penulangan arah y

$$\text{Berat poer } (q_u) = 2,9 \times 1 \times 2,4 = 6,96 \text{ t/m}$$

Reaksi Kolom :

$$\begin{aligned}R_K &= P_{u \text{ Kolom}} - P_{u \text{ Maks}} \\ &= 483,78 - 136,263 \\ &= 347,517 \text{ t}\end{aligned}$$

Penulangan lentur:

Momen – momen yang bekerja:

$$\begin{aligned}M_{uy} &= (P_u \times 3) - (1/2 \times q \times (4,2)^2) - (R_k \times 1,8) + (P_u \times 0,6) \\ &= (2 \times 136,263 \times 3) - (1/2 \times 6,96 \times 4,2^2) - (345,517 \times 1,8) + (2 \times 136,263 \times 0,6) - (73,9691 \times 4,2) \\ &= 150,7451 \text{ tm} = 1507451000 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\beta_1 = 0,836$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,836 \times 25}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,026\end{aligned}$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,026 = 0,0195$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,823$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times 4800 \times d x^2} = \frac{1507451000}{0,8 \times 4800 \times 922,5^2} = 0,461$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{18,823} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,823 \times 0,461}{400}} \right) = 0,0011$$

$$\rho_{\text{min}} > \rho_{\text{perlu}}$$

maka dipakai  $\rho = 0,0035$

Tulangan lentur yang dibutuhkan:

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d = 0,0035 \times 4800 \times 922,5 = 15498 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ D25}}$$

$$= \frac{15498}{490,87} = 31,5 \approx 32 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = 4800/32 = 150 \text{ mm}$$

Maka untuk arah Y digunakan tulangan D25-150 mm

#### 4.6.7.2 Kontrol Geser Pons Pada Pile Cap

Perencanaan pile cap harus memenuhi persyaratan kekuatan gaya geser nominal beton yang harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Hal ini sesuai yang disyaratkan pada SNI03-2847-2013 pasal 11.11.2.1 Kuat geser yang disumbangkan beton diambil yang terkecil dari:

$$V_c = 0,17 \times \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

SNI03-2847-2013 pasal 11.11.2.1.a

$$V_c = 0,083 \times \left( \frac{\alpha_s \times d}{b_o} \right) \lambda \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

SNI03-2847-2013 pasal 11.11.2.1.b

$$V_c = 0,33 \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

SNI 03-2847-2013 pasal 11.11.2.1.c

Dimana:

$\beta$  = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek beton dari daerah beban terpusat atau reaksi = 1

$b_o$  = keliling dari penampang kritis pada pile cap

$$b_o = 2 (b_k + d) + 2(h_k + d)$$

dimana:

$b_k$  = lebar penampang kolom

$h_k$  = tinggi penampang kolom

$d$  = tebal efektif pile cap

$$\begin{aligned} b_o &= 2 (900 + 947,5) + 2 (900 + 922,5) \\ &= 7390 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\beta_c = \frac{900}{900} = 1$$

$\alpha_s = 40$ , untuk kolom interior

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times 1 \times \sqrt{25} \times 7390 \times 947,5 = 17855163,8 \text{ N} = 1785,516 \text{ t}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,083 \times \left(\frac{40 \times 947,5}{7390}\right) \times 1 \times \sqrt{25} \times 7390 \times 947,5 = 14092753,8 \text{ N} \\ &= 1490,275 \text{ t} \end{aligned}$$

$$V_c = 0,33 \times 1 \times \sqrt{25} \times 7390 \times 947,5 = 11553341,3 \text{ N} = 1155,33 \text{ t}$$

Diambil yang terkecil  $V_c = 1155,33 \text{ t}$

$$\phi V_c = 0,75 \times 1155,33 \text{ t} = 866,5 \text{ t}$$

$$= 866,5 \text{ ton} > 483,78 \text{ ton} \dots\dots \text{OK}$$

Sehingga ketebalan dan ukuran pile cap memenuhi syarat terhadap geser ponds.

#### 4.6.8 Perencanaan Balok Sloof Interior

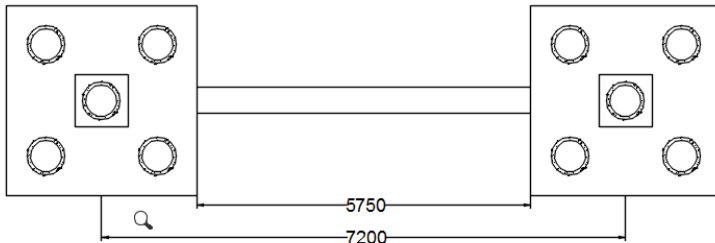
Struktur sloof dalam hal ini digunakan dengan tujuan agar terjadi penurunan secara bersamaan pada pondasi atau dalam kata lain sloof mempunyai fungsi sebagai pengaku yang menghubungkan antar pondasi yang satu dengan yang lainnya. Adapun beban-beban yang ditimpakan ke sloof meliputi: berat

sendiri sloof, berat dinding pada lantai paling bawah, beban aksial tekan atau tarik yang berasal dari 10% beban aksial kolom.

#### 4.6.8.1 Data Perencanaan

Data-data perancangan perhitungan sloof adalah sebagai berikut:

P kolom	= 483,783ton
Panjang Sloof L	= 7,2 m
Mutu Beton $f_c'$	= 25 MPa
Mutu Baja $f_y$	= 400 MPa
Decking	= 40 mm
Diameter Tulangan Utama	= 25 mm
Diameter Senggang	= 13 mm
Dimensi Sloof	= 400 mm x 600 mm
Tinggi Efektif	= $400 - 40 - 13 - (1/2 \times 25)$ = 334,5 mm



**Gambar 4. 44** Sloof yang ditinjau

#### 4.6.8.2 Dimensi Sloof Interior

Pada perancangan *sloof* ini, penulis mengambil ukuran *sloof* berdasarkan *sloof* yang berhubungan dengan kolom yang mempunyai gaya aksial terbesar yaitu  $P_u = 483,783$  ton. Penentuan dimensi dari sloof dilakukan dengan memperhitungkan syarat bahwa tegangan tarik yang terjadi tidak boleh melampaui tegangan ijin beton (modulus keruntuhan) yaitu sebesar:

$$f_t = 0,7 \times \sqrt{f'_c}$$

Maka perhitungannya:

Tegangan tarik ijin:

$$f_{r \text{ ijin}} = 0,7 \times \sqrt{25} = 3,5 \text{ Mpa}$$

Tegangan tarik yang terjadi

$$\begin{aligned} P_u &= 10\% \times P_{u \text{ kolom}} \\ &= 10\% \times 483,783 \text{ ton} \\ &= 48,38 \text{ ton} = 483783 \text{ N} \end{aligned}$$

$$f_r = \frac{P_u}{0,8 \times b \times h} = \frac{483783}{0,8 \times 400 \times 600} = 2,51 \text{ Mpa} < f_{r \text{ ijin}} \dots \text{OK}$$

#### 4.6.8.3 Penulangan Sloof

##### a. Penulangan Lentur Sloof

Penulangan sloof didasarkan atas kondisi pembebanan dimana beban yang diterima adalah beban aksial dan lentur sehingga penulangannya diidealisasikan seperti penulangannya pada kolom. Adapun beban sloof adalah:

$$\begin{aligned} \text{Berat aksial } N_u &= 10\% \times 483,783 \text{ ton} \\ &= 48,38 \text{ ton} = 483,783 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berat yang diterima sloof:

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri} &= 0,4 \times 0,6 \times 2,4 = 0,576 \text{ t/m} \\ \text{Berat dinding} &= 4 \times 0,1 = \underline{0,4 \text{ t/m}} + \\ &= 0,976 \text{ t/m} \\ Q_u &= 1,2 \times 0,976 = 1,171 \text{ t/m} \\ &= 11,71 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Momen yang terjadi (tumpuan menerus)

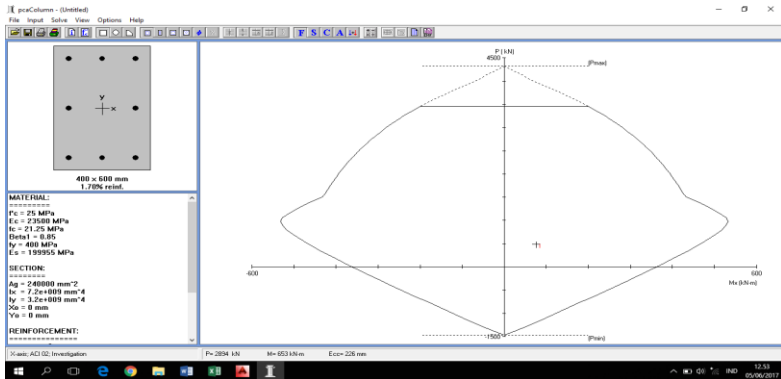
$$\begin{aligned} M_u &= 1/12 \times q_u \times L^2 \\ &= 1/12 \times 11,71 \times 7,2^2 \\ &= 75,893 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Lalu menggunakan program PCACol dengan memasukkan beban:

$$P = 483,783 \text{ kN}$$

$$M = 75,893 \text{ kNm}$$

Sehingga didapatkan diagram interaksi seperti pada **Gambar 4.46** di bawah ini :



**Gambar 4. 45**Diagram Interaksi Balok Sloof 40/60

Dari diagram interaksi untuk:

$$f'_c = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa} \text{ didapat } \rho = 1,7\%$$

Dipasang Tulangan 8 D25 ( $A_s = 4077,41 \text{ mm}^2$ )

### b. Penulangan Geser Sloof

Dari diagram interaksi didapat momen balance  $M_{pr}$  sebesar = 463,9 kNm

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{M_{pr} + M_{pr}}{h_n} \\ &= \frac{463,9 + 463,9}{7,2} = 128,861 \text{ kN} = 128861,111 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} x \sqrt{f_c} x b w x dx \left[ 1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_g} \right] \\ &= \frac{1}{6} x \sqrt{25} \times 400 \times 534,5 \left[ 1 + \frac{483783}{14 \times 400 \times 600} \right] \\ &= 203819,644 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 203819,644 \text{ N} = 152864,733 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 152864,73 \text{ N} = 76432,366 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c < V_u < \phi V_c$$

$$76432,366 \text{ N} < 128861,111 \text{ N} < 152864,733 \text{ N}$$

Maka,  $\phi V_s$  perlu =  $\phi V_s$  min

$$\begin{aligned} V_{s \text{ min}} &= 1/3 \times b_w \times d \\ &= 1/3 \times 400 \times 534,5 \\ &= 71266,67 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat geser sengkang

$$\phi V_s = 0,75 \times 71266,67 = 53450 \text{ N}$$

Jarak minimum

Jika dipakai begel 2 kaki dengan D13 mm ( $A_v = 265,46 \text{ mm}^2$ )

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{265,46 \times 400 \times 534,5}{53450} = 1061,858 \text{ mm}$$

Kontrol jarak sengkang

$$S \leq \frac{1}{2} \times d$$

$$S \leq \frac{1}{2} \times 534,5 \text{ mm} = 267,25 \text{ mm}$$

Maka Dipasang tulangan sengkang D13 – 260mm

## 4.7 Metode Pelaksanaan

### 4.7.1 Umum

Dalam setiap pekerjaan konstruksi, metode pelaksanaan merupakan item penting yang tidak bisa dipisahkan. Apalagi menyangkut struktur beton pracetak. Untuk merencanakan beton pracetak, terlebih dahulu harus diketahui apakah struktur tersebut bisa dilaksanakan. Tahap pelaksanaan ini akan diuraikan mengenai item-item pekerjaan konstruksi dan pembahasan mengenai pelaksanaan yang berkaitan dengan penggunaan material-material beton pracetak. Proses pekerjaan yang dilakukan di proyek ini adalah ;



- Proses pencetakan secara pabrikasi di Industri pracetak. Hal – hal yang perlu dipertimbangkan dengan proses pabrikasi adalah:
  - a. Perlunya standart khusus sehingga hasil parcetak dapat diaplikasikan secara umum di pasaran
  - b. Terbatasnya fleksibilitas ukuran yang disediakan untuk elemen pracetak yang disebabkan karena harus mengikuti elemen pracetak yang disebabkan karena harus mengikuti kaidah sistem dimensi satuan yang disepakati bersama dalam bentuk kelipatan suatu modul.
  - c. Dengan cara ini dimungkinkan untuk mencari produk yang terbaik dari lain pabrik.

#### **4.7.2 Pengangkatan dan Penempatan Crane**

Hal – hal yang perlu diperhatikan dalam pengangkatan elemen pracetak antara lain:

1. kemampuan maksimum crane yang digunakan
2. metode pengangkatan
3. letak titik – titik angkat pada elemen pracetak

Hal – hal tentang pengangkatan dan penentuan titik angkat telah dibahas pada bab – bab sebelumnya. Dalam perencanaan ini memakai peralatan tower crane untuk mengangkat elemen pracetak di lapangan. Untuk pemilihan tower crane harus disesuaikan antara kemampuan angkat crane dengan berat elemen pracetak.

- Jenis crane POTAIN MC 310
- Jarak jangkauan maksimum 70 m dengan beban maksimum 9,6 ton
- Tower crane yang digunakan 1 buah

##### **4.7.2.1 Kontrol Kapasitas Crane**

Elemen struktur pracetak

1. Balok induk 40/60 (terpanjang 7,2 m)

$$W = 0,40 \times (0,60 - 0,15) \times 7,2 \times 2,4 = 3,11 \text{ ton}$$

Kapasitas crane mampu mengangkat balok induk pracetak dengan beban 3,11 tondengan beban maksimum 6,7 ton dengan jarak jangkauan maksimum 40 m.

2. Balok anak 20/30 (terpanjang 4,8 m)

$$W = 0,20 \times (0,3 - 0,15) \times 4,8 \times 2,4 = 0,3456 \text{ ton}$$

Kapasitas crane mampu mengangkat balok anak pracetak dengan beban 0,3456 ton dengan beban maksimum 3,2 ton dengan jarak jangkau maksimum 70 m.

3. Pelat

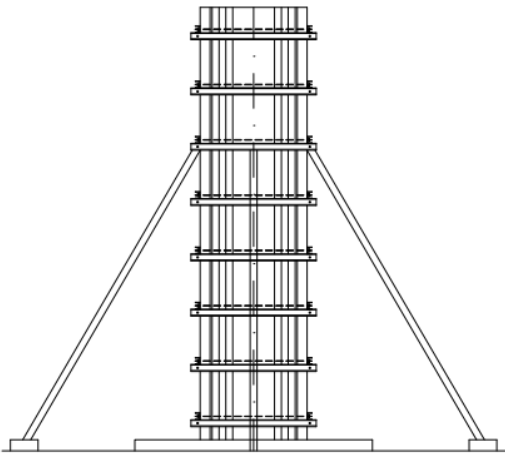
Ukuran Pelat  $1,8 \times 4,8 \text{ m}$  ( $t = 9 \text{ cm}$ )

$$W = 1,8 \times 4,8 \times 0,09 \times 2,4 = 1,866 \text{ ton}$$

Kapasitas crane mampu mengangkat pelat pracetak dengan beban 1,866 ton dengan beban maksimum 6,7 ton dengan jarak jangkau maksimum 70 m.

#### 4.7.3 Pekerjaan Elemen Kolom

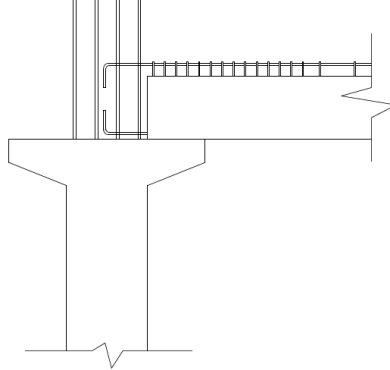
Setelah dilakukan pemancangan, pembuatan pile cap dan sloof, maka tulangan kolom dipasang bersamaan dengan pendimensian pile cap. Tulangan kolom bersamaan dengan tulangan konsol yang telah disiapkan dicor sampai batas yang sudah ditentukan. Dalam hal ini sampai ketinggian permukaan bawah balok induk yang menumpang pada kolom.



**Gambar 4. 46**Pemasangan Bekisting untuk Pembuatan Kolom

#### 4.7.4 Pemasangan Elemen Balok Induk

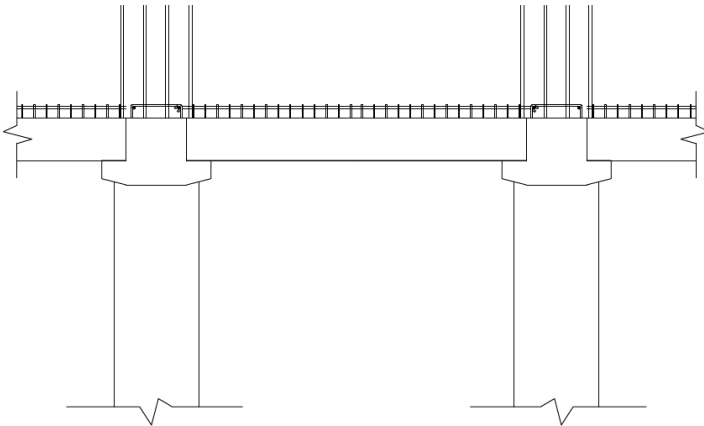
Pemasangan balok pracetak setelah pengecoran kolom. Balok induk dipasang terlebih dahulu di atas konsol kolom kemudian dilanjutkan dengan pemasangan balok anak. Lalu setelah itu baru dilakukan pengecoran.



**Gambar 4. 47**Pemasangan Balok Induk Pracetak

#### 4.7.5 Pemasangan Elemen Balok Anak

Pemasangan balok anak pracetak di bagian tengah balok induk. Konsol tempat bertumpunya balok anak pun terbuat dari beton pracetak yang terdapat pada balok induk.

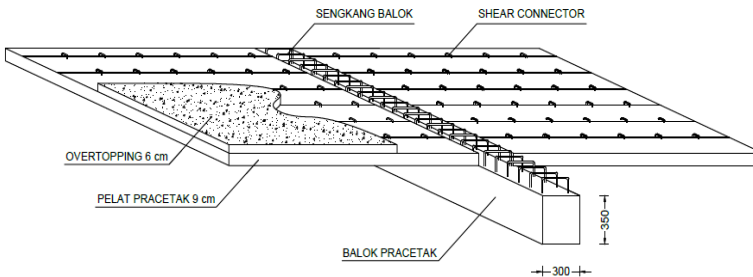


**Gambar 4. 48**Pemasangan Balok Anak Pracetak

Setelah balok anak dan balok induk terpasang, maka dilanjutkan dengan pemasangan pelat dan kemudian dilakukan pengecoran *overtopping*.

#### 4.7.6 Pemasangan Elemen Pelat

Pemasangan pelat pracetak di atas balok induk dan balok anak sesuai dengan dimensi pelat yang sudah ditentukan. Kemudian dilakukan pemasangan tulangan bagian atas yaitu tulangan tumpuan untuk pelat.



**Gambar 4. 49**Pemasangan Tulangan Atas

Setelah semua tulangan terpasang, kemudian dilakukan pengecoran pada bagian atas pelat, balok anak, dan balok induk yang berfungsi sebagai topping atau penutup bagian atas. Selain itu topping juga berfungsi untuk merekatkan komponen pelat, balok anak, dan balok induk agar menjadi satu kesatuan (komposit). Hal ini diperkuat dengan adanya tulangan panjang penyaluran pada masing – masing komponen pelat, balok anak, dan balok induk. Topping digunakan setinggi 6 cm.

Untuk pekerjaan lantai berikutnya dilakukan sama dengan urutan pelaksanaan di atas sampai semua elemen pracetak terpasang.

#### **4.7.7 Transportasi Elemen Beton Pracetak**

Sistem transportasi disini meliputi:

1. Pemindahan beton pracetak di areal pabrik
2. Pemindahan dari pabrik ke tempat penampungan di proyek
3. Pemindahan dari penampungan sementara di proyek ke posisi akhir

Tahap pemindahan komponen beton pracetak dari lokasi pabrikasi ke areal proyek diperlukan sarana angkut seperti truk tunggal, tandem, atau temple. Truk yang biasa digunakan untuk pengangkutan berukuran lebar 2,4 m x 16 m atau 2,4 m x 18 m dengan kapasitas angkut kurang lebih 50 ton. Untuk komponen tertentu dimana panjangnya cukup panjang hingga 30 m dapat dipergunakan truk temel dimana kapasitasnya dapat mencapai 80 ton. Di area lokasi proyek diperlukan sarana untuk pemindahan komponen beton pracetak mempergunakan tower crane dan area penyimpanan (*storage*) untuk menyimpan elemen pracetak sebelum dilaksanakan pemasangan (*erection*)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan perancangan struktur yang dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir “Modifikasi Gedung Laboratorium Teknik Industri ITS Dengan Metode Beton Pracetak” maka dapat ditarik beberapa poin kesimpulan diantaranya sebagai berikut :

1. Berdasarkan perancangan struktur yang dilakukan dalam Dimensi struktur utama didapatkan dari SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.2. Yang meliputi ketentuan tebal minimum balok non prategang dapat disesuaikan pada table 9.5(a) dan dimensi kolom yang didapat dari perhitungan sebesar 90/90 cm. Dimensi struktur sekunder didapatkan dari SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.2. Yang meliputi ketentuan tebal minimum balok non prategang dapat disesuaikan pada table 9.5(a). Sedangkan untuk dimensi pelat digunakan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.2 dengan melihat tablel 9.5(c). adapun hasil modifikasi sebagai berikut :
  - a. Struktur Sekunder
    - Dimensi balok anak = 20/30 cm
    - Dimensi balok bordes = 20/30 cm
    - Dimensi pengantung lift = 25/40 cm
    - Dimensi penumpu lift = 25/40 cm
    - Tebal pelat = 15 cm
  - b. Struktur Primer
    - Dimensi balok induk = 40/60 cm
    - Dimensi kolom = 90x90 cm
    - Pile cap = 2,9x2,9x,1 m
    - Tiang pancang = D60, H=21
2. Komponen pracetak disambung dengan menggunakan sambungan basah dan konsol pendek agar bangunan tersebut menjadi bangunan pracetak yang monolit. Ukuran konsol pendek kolom adalah 500x400 mm dan konsol pendek balok induk 200x200.

3. Detailing sambungan pracetak dirancang bersifat monolit antar elemennya dengan tulangan-tulangan dan shear connector yang muncul dari setiap elemen pracetak untuk menyatukan dengan elemen cor di tempat. Sambungan didesain sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

## 5.2 Saran

Bedasarkan analisa selama proses penyusunan tugas akhir ini, beberapa saran yang dapat penulis sampaikan adalah diantaranya :

1. Perlu pengawasan dengan baik pada saat pelaksanaan sambungan antar elemen beton pracetak karena sambungan beton pracetak tentu tidak semonolit seperti pada sambungan dengan cor setempat agar nantinya pada saat memikul beban tidak terjadi gaya-gaya tambahan yang tidak diinginkan pada daerah sambungan akibat dari kurang sempurnanya pengerjaan sambungan
2. Sambungan tipe elemen pracetak sedapat mungkin dibuat seminal mungkin untuk lebih menyeragamkan bentuk cetakan dan detail tulangan tulangan sehingga tujuan dari konstruksi dengan metode pracetak dapat terlaksana
3. Masih perlu lagi pengembangan teknologi Pracetak agar lebih efisien lagi dalam penggunaannya, serta lebih mudah dalam pengaplikasiannya.
4. Diperlukan penelitian lebih lanjut perihal pengembangan teknologi pracetak agar lebih efisien dalam penggunaannya, sehingga para pelaku dunia konstruksi lebih mudah dalam mengaplikasikan metode beton pracetak.



## DAFTAR PUSTAKA

1. PCI. Fourth Edition. **PCI Design Handbook Precast and Prestressed Concrete**. Chicago : PCI Industry Handbook Committee.
2. Badan Standarisasi Nasional. 2013. **SNI 03-2847-2013 Tata cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
3. Badan Standardisasi Nasional. 2012. **SNI 03-1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
4. Badan Standardisasi Nasional. 2012. **SNI 03-1727-2012 Tata Cara Perhitungan Pembebanan Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
5. Purwono, Rachmat . 2006.**Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa**. Surabaya : ITS Press
6. Elliot, Kim S. 2002. **Precast Concrete Structure**. India: Butterwoth Heinemann.
7. Wahyudi, Herman. 1999. **Daya Dukung Pondasi Dalam**, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
8. Nawy, Erdward G. 1998. **Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar** Diterjemahkan : Bambang Suryoatmono. Bandung: PT Rafika Aditama.
9. Elliot, Kim S. 2002. **Precast Concrete Structure**. India: Butterwoth Heinemann.
10. Ervianto, Wulfram. 2006. **Teknologi Pracetak dan Bekisting**. Bandung

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

## **LAMPIRAN**



## BIODATA PENULIS



### **Indra Jati Prakoso**

lahir di Bojonegoro pada tanggal 02 juli 1993, merupakan anak terakhir dari tiga bersaudara.

Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Kadipaten 1 Bojonegoro(1999-2005), SMPN5 Bojonegoro (2005-2008), dan SMAN3 Bojonegoro (2008-2011). Penulis melanjutkan pendidikan sarjana di Jurusan Teknik Sipil ITS Surabaya angkatan 2012 dan terdaftar dengan NRP

3112100146. Bagi penulis menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Sipil ITS Surabaya merupakan suatu kebanggaan. Penulis dapat dihubungi melalui email [indrajatiprakoso@gmail.com](mailto:indrajatiprakoso@gmail.com)



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

## TUGAS AKHIR

**MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS DENGAN METODE  
BETON PRACETAK**

## DOSEN PEMBIMBING

Budi Suswanto, ST., MT., PhD.

## MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

## GAMBAR

Detail Penulangan Balok Anak BA1

## SKALA

1:300

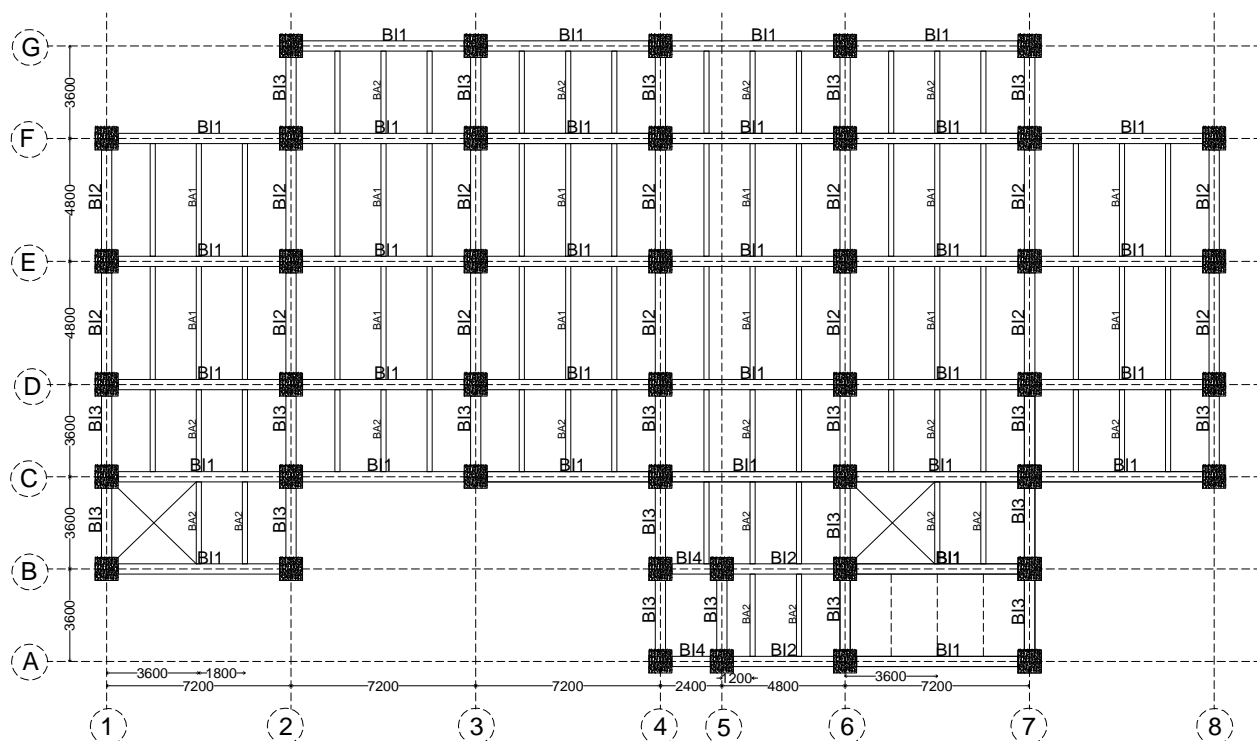
NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

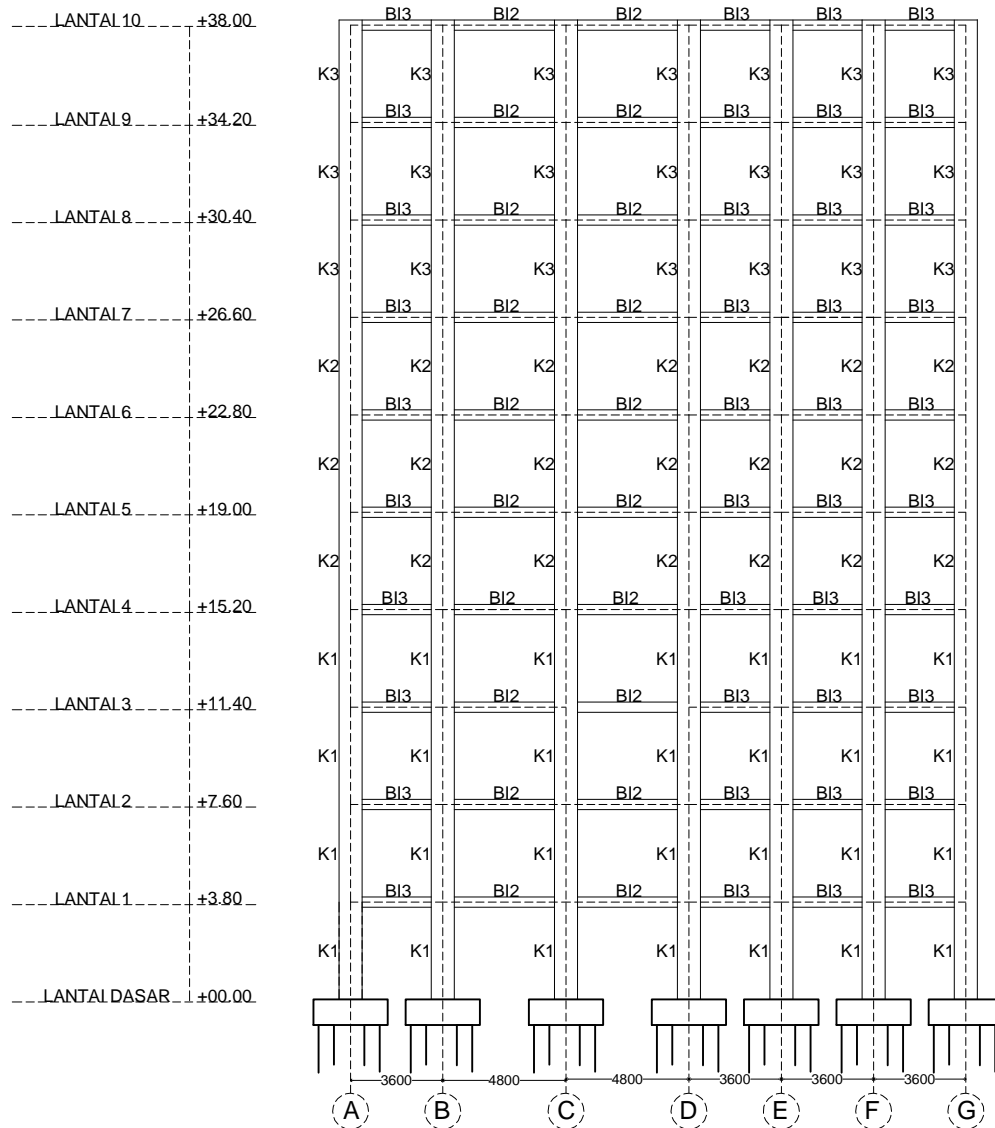
1

31

## CATATAN



Denah Pembalokan Lantai 1-10  
Skala 1:300



Denah Kolom Memanjang  
Skala 1:300



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS DENGAN METODE  
BETON PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Budi Suswanto, ST., MT., PhD.

MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

GAMBAR

Denah Kolom Memanjang

SKALA

1:300

NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

2

31

CATATAN



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

## TUGAS AKHIR

**MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS DENGAN METODE  
BETON PRACETAK**

## DOSEN PEMBIMBING

Budi Suswanto, ST., MT., PhD.

## MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

## GAMBAR

Denah Kolom Melintang

## SKALA

1:300

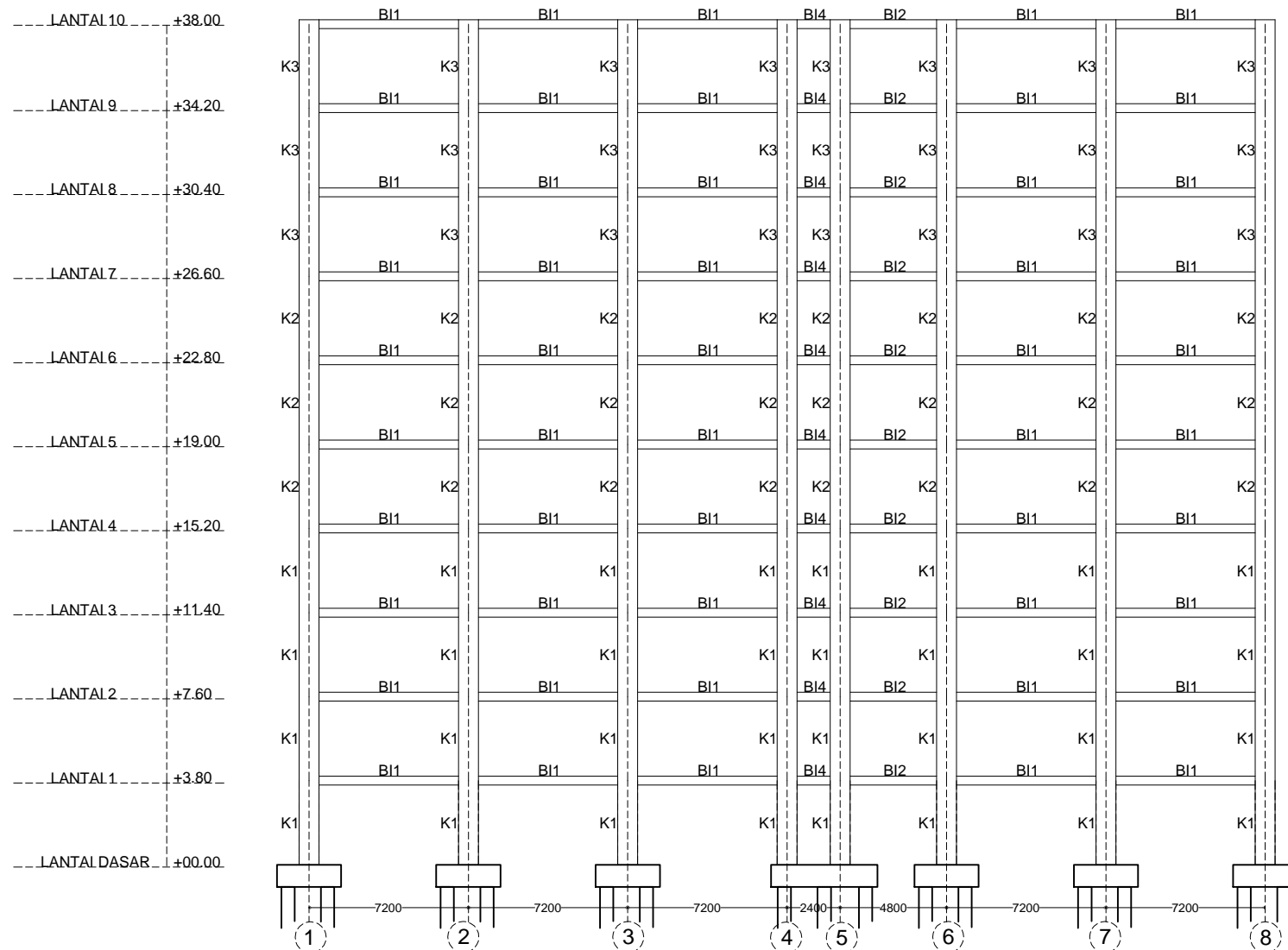
NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

3

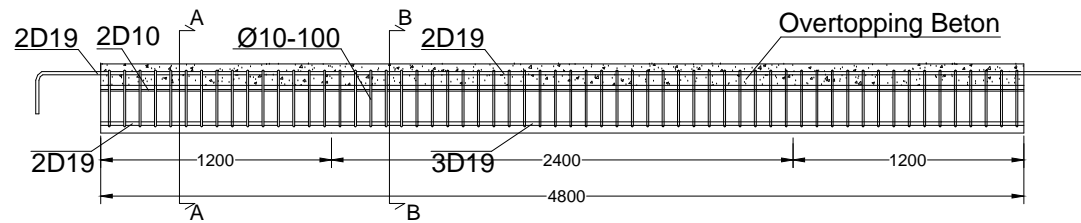
31

## CATATAN

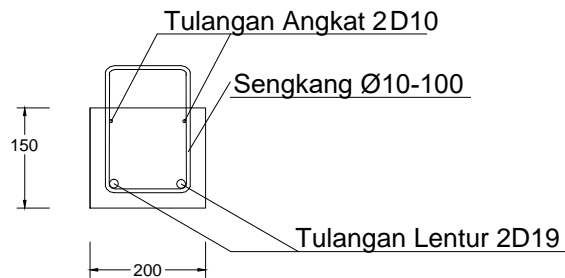


Denah Kolom Melintang  
Skala 1:300

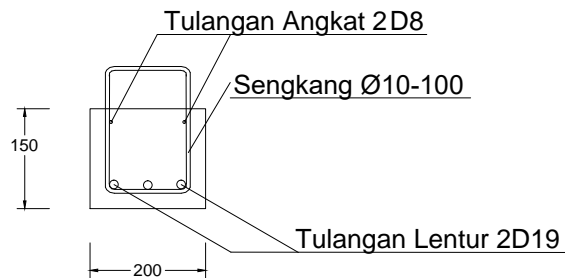




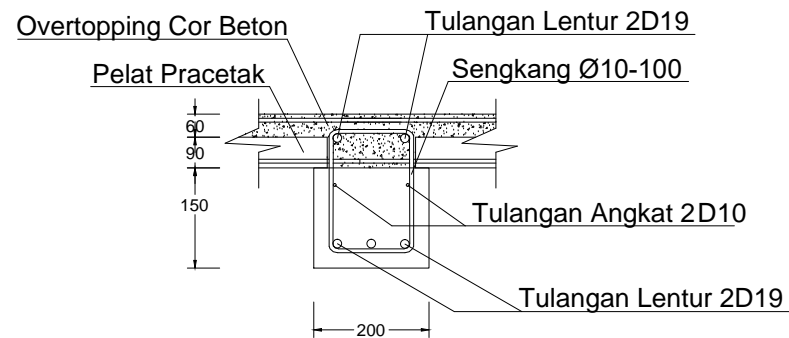
Detail BA1 Setelah Komposit  
Skala 1:50



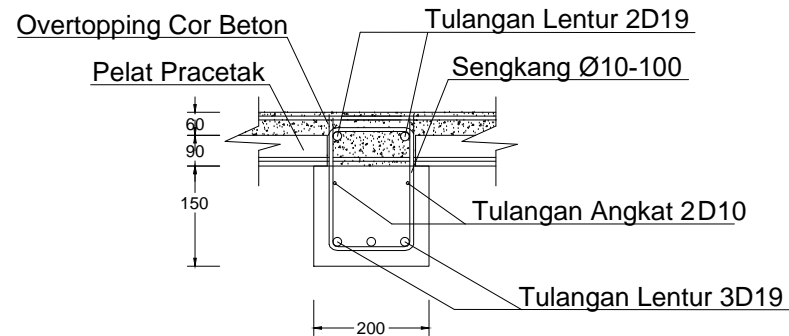
Potongan A-A Sebelum Komposit  
Skala 1:20



Potongan B-B Sebelum Komposit  
Skala 1:20



Potongan A-A Setelah Komposit  
Skala 1:20



Potongan B-B Setelah Komposit  
Skala 1:20



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

## TUGAS AKHIR

**MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS DENGAN METODE  
BETON PRACETAK**

## DOSEN PEMBIMBING

Budi Suswanto, ST., MT., PhD.

## MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

## GAMBAR

Detail Penulangan Balok Anak BA1

## SKALA

1:50  
1:20

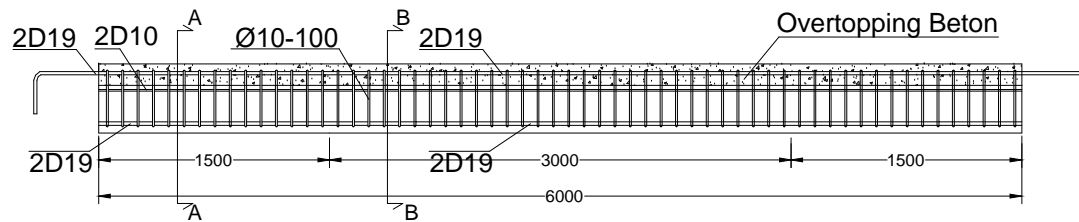
NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

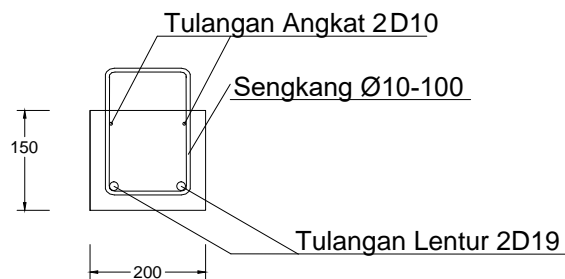
4

31

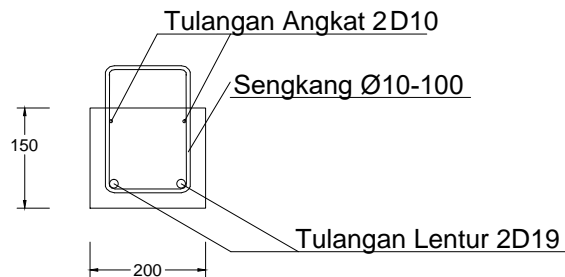
## CATATAN



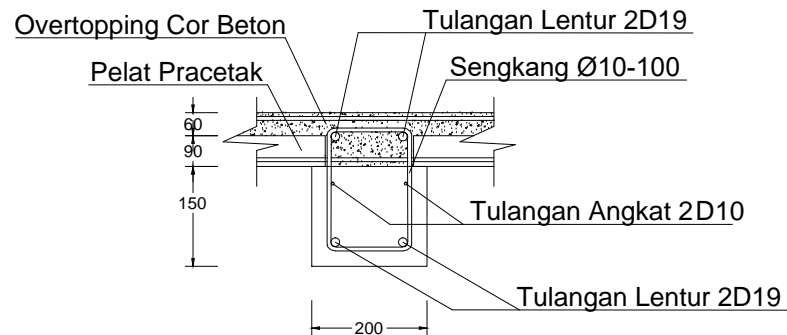
Detail BA1 Setelah Komposit  
Skala 1:50



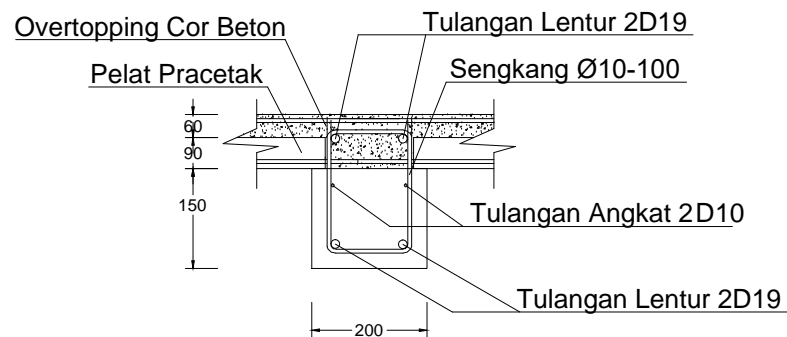
Potongan A-A Sebelum Komposit  
Skala 1:20



Potongan B-B Sebelum Komposit  
Skala 1:20



Potongan A-A Setelah Komposit  
Skala 1:20



Potongan B-B Setelah Komposit  
Skala 1:20



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

## TUGAS AKHIR

**MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS DENGAN METODE  
BETON PRACETAK**

## DOSEN PEMBIMBING

Budi suswanto, ST., MT., PhD.

## MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

## GAMBAR

Detail Penulangan Balok Anak BA2

## SKALA

1:50  
1:20

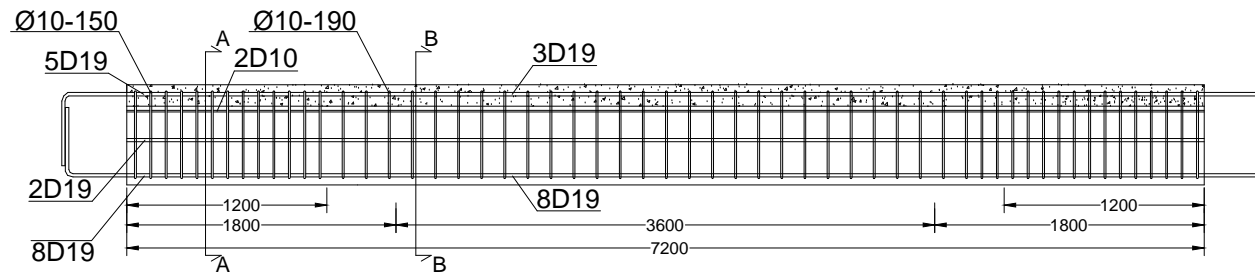
NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

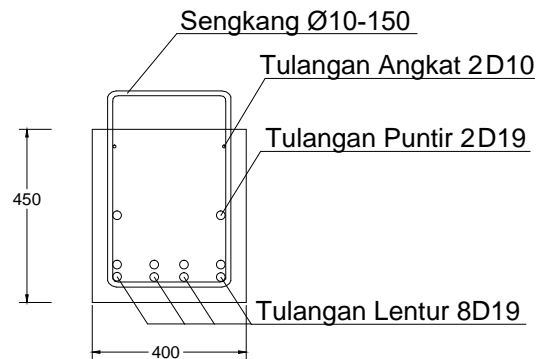
5

31

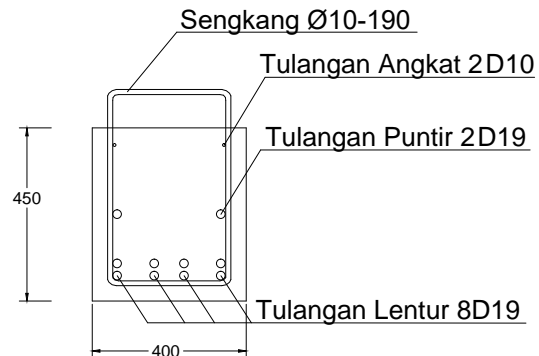
## CATATAN



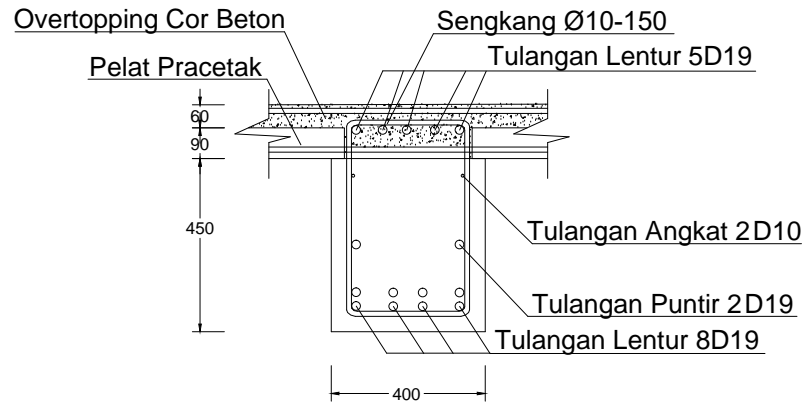
Detail BI1 Interior Setelah Komposit  
Skala 1:50



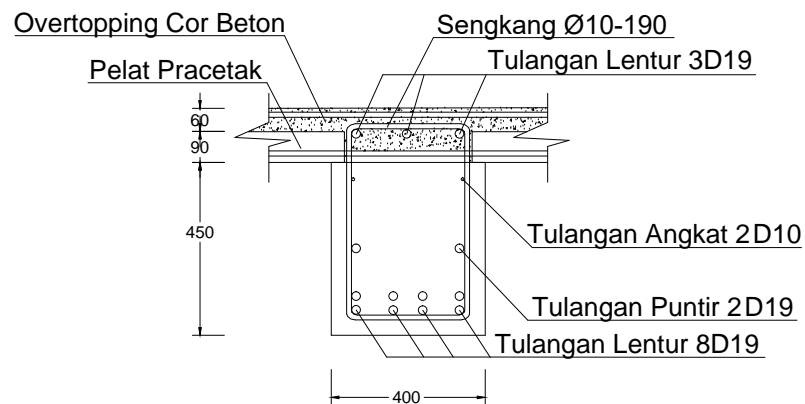
Potongan A-A Sebelum Komposit  
Skala 1:20



Potongan B-B Sebelum Komposit  
Skala 1:20



Potongan A-A Setelah Komposit  
Skala 1:20



Potongan B-B Setelah Komposit  
Skala 1:20



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

## TUGAS AKHIR

MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS DENGAN METODE  
BETON PRACETAK

## DOSEN PEMBIMBING

Budi Suswanto, ST., MT., PhD.

## MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

## GAMBAR

Detail Penulangan BI1 Interior

## SKALA

1:50  
1:20

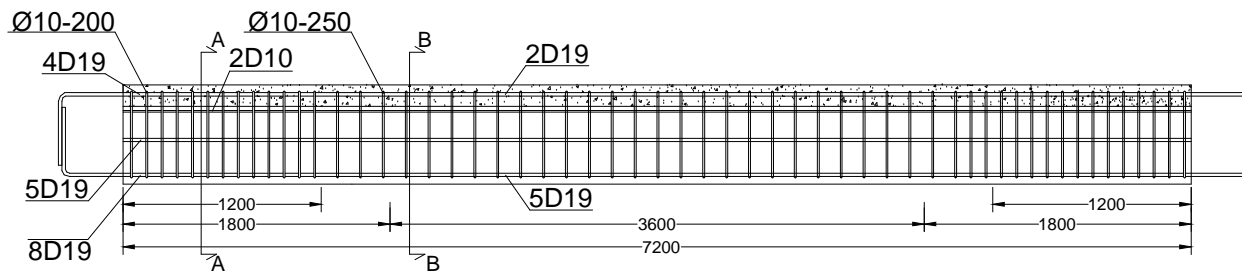
NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

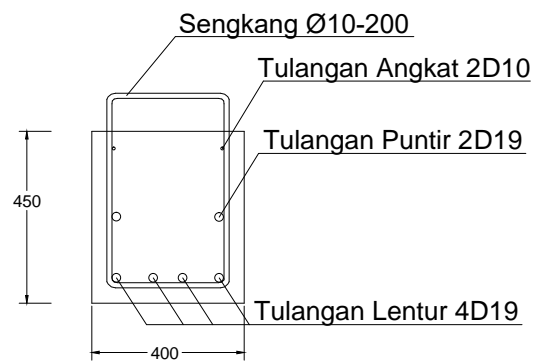
6

31

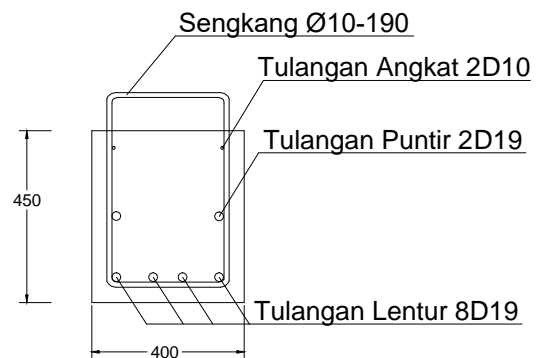
## CATATAN



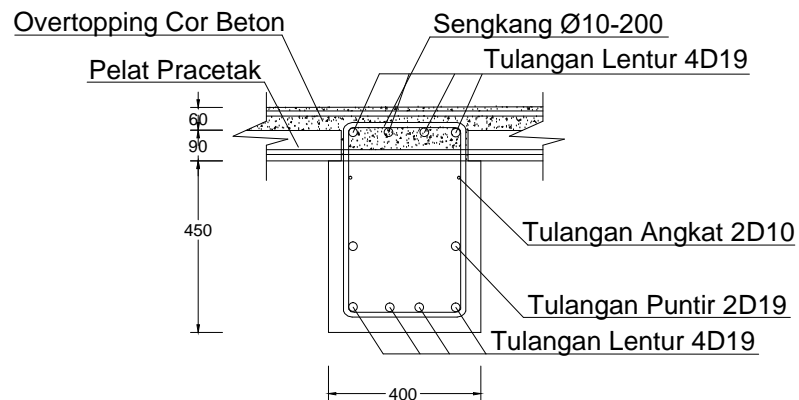
Detail B1 Eksterior Setelah Komposit  
Skala 1:50



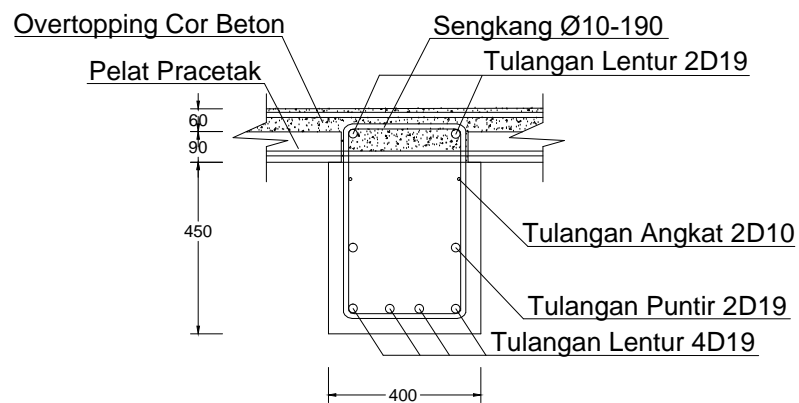
Potongan A-A Sebelum Komposit  
Skala 1:20



Potongan B-B Sebelum Komposit  
Skala 1:20



Potongan A-A Setelah Komposit  
Skala 1:20



Potongan B-B Setelah Komposit  
Skala 1:20



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

## TUGAS AKHIR

**MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS DENGAN METODE  
BETON PRACETAK**

## DOSEN PEMBIMBING

Budi Suswanto, ST., MT., PhD.

## MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

## GAMBAR

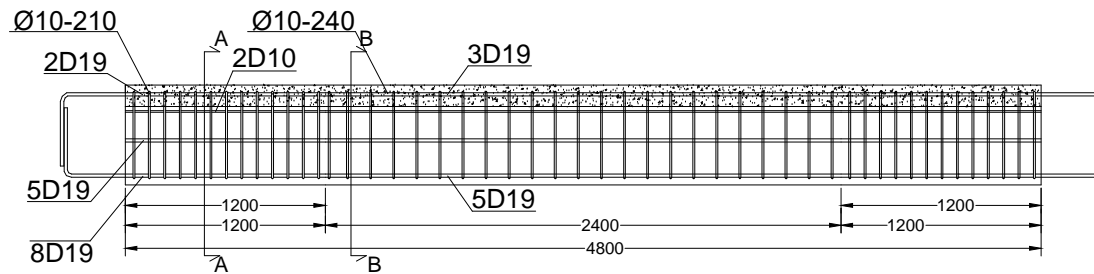
Detail Penulangan B11 Eksterior

## SKALA

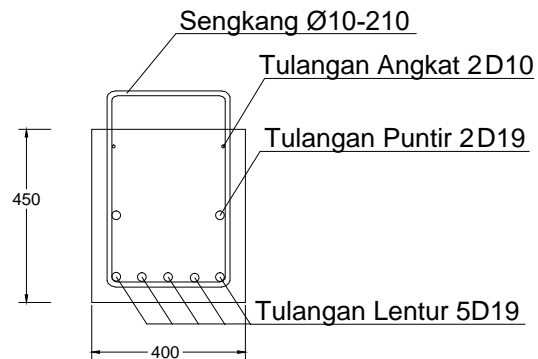
1:50  
1:20

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
7	31

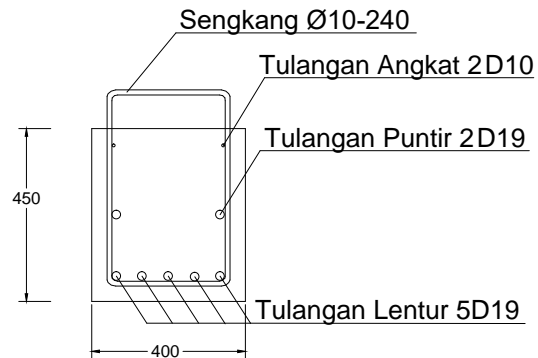
## CATATAN



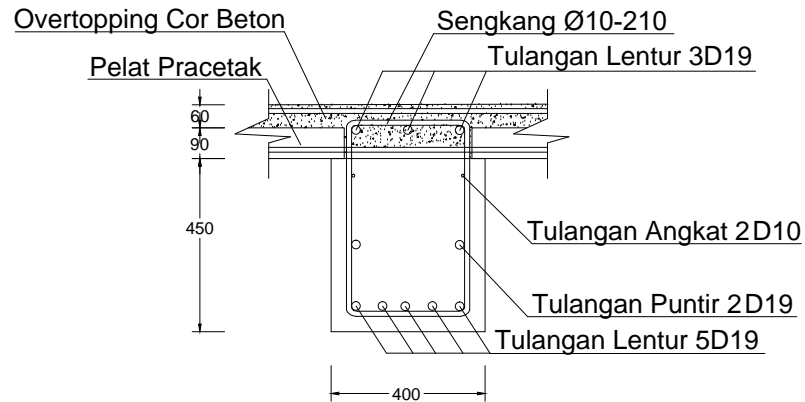
Detail BI2 Interior Setelah Komposit  
Skala 1:50



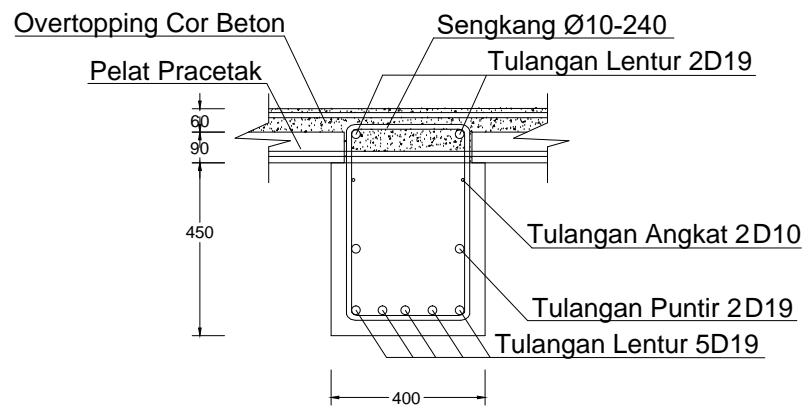
Potongan A-A Sebelum Komposit  
Skala 1:20



Potongan B-B Sebelum Komposit  
Skala 1:20



Potongan A-A Setelah Komposit  
Skala 1:20



Potongan B-B Setelah Komposit  
Skala 1:20



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

## TUGAS AKHIR

MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS DENGAN METODE  
BETON PRACETAK

## DOSEN PEMBIMBING

Budi Suswanto, ST., MT., PhD.

## MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

## GAMBAR

Detail Penulangan BI2 Interior

## SKALA

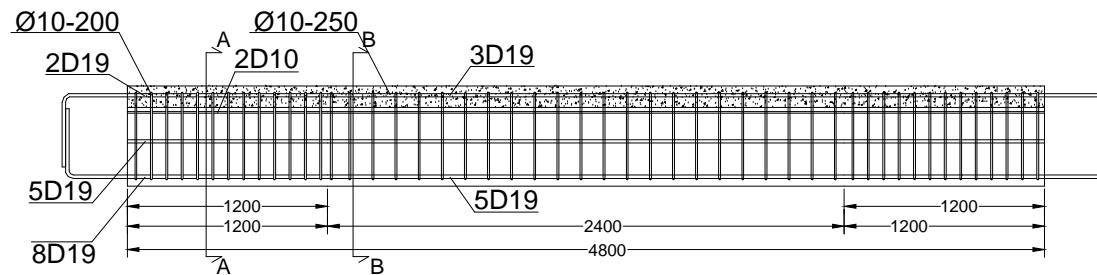
1:50  
1:20

NO. LEMBAR JUMLAH LEMBAR

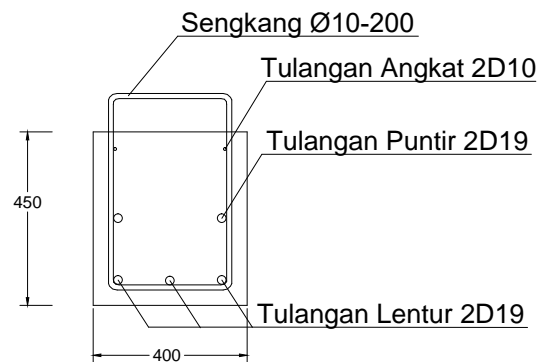
8

31

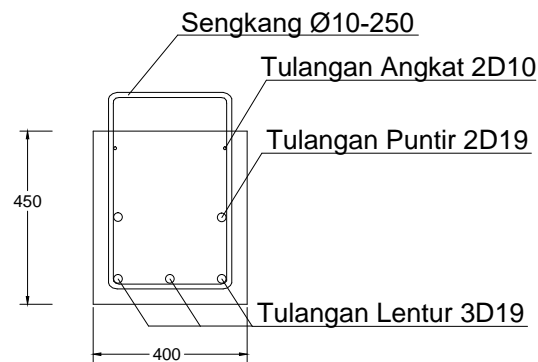
## CATATAN



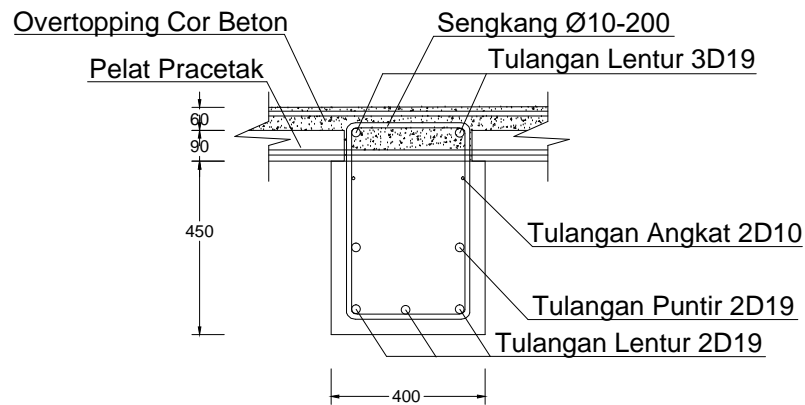
Detail BI2 Eksterior Setelah Komposit  
Skala 1:50



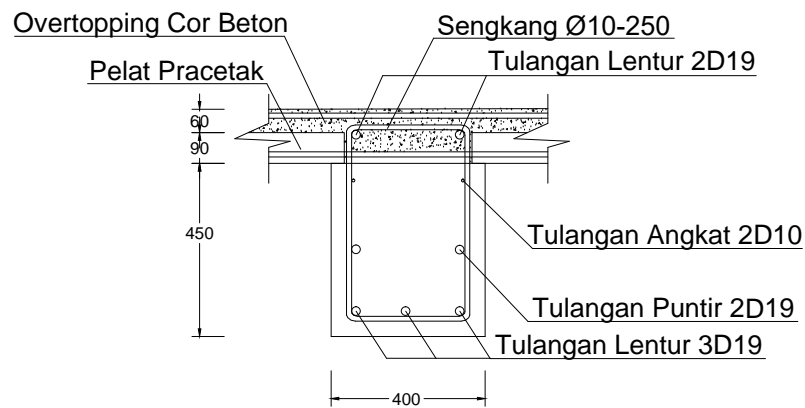
Potongan A-A Sebelum Komposit  
Skala 1:20



Potongan B-B Sebelum Komposit  
Skala 1:20



Potongan A-A Setelah Komposit  
Skala 1:20



Potongan B-B Setelah Komposit  
Skala 1:20



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

## TUGAS AKHIR

**MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS DENGAN METODE  
BETON PRACETAK**

## DOSEN PEMBIMBING

Budi Suswanto, ST., MT., PhD.

## MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

## GAMBAR

Detail Penulangan BI2 Eksterior

## SKALA

1:50  
1:20

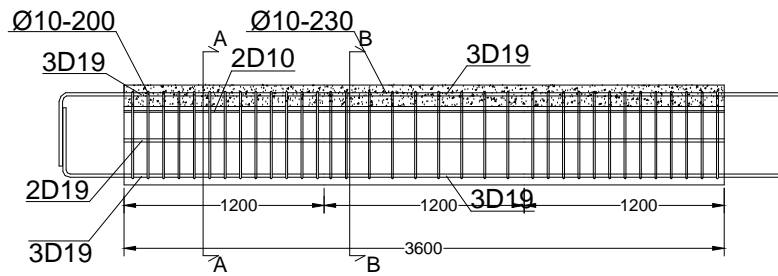
NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

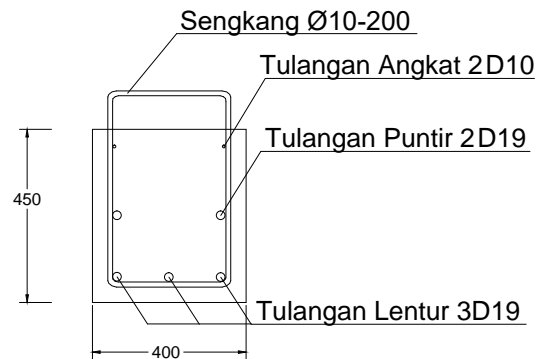
9

31

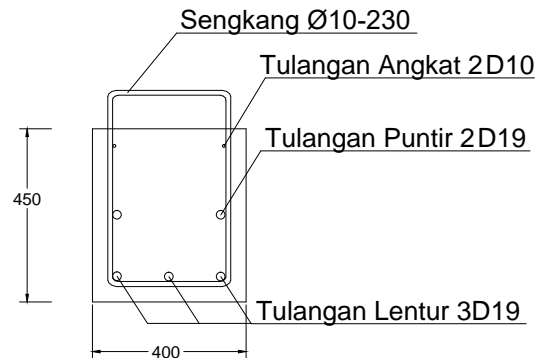
## CATATAN



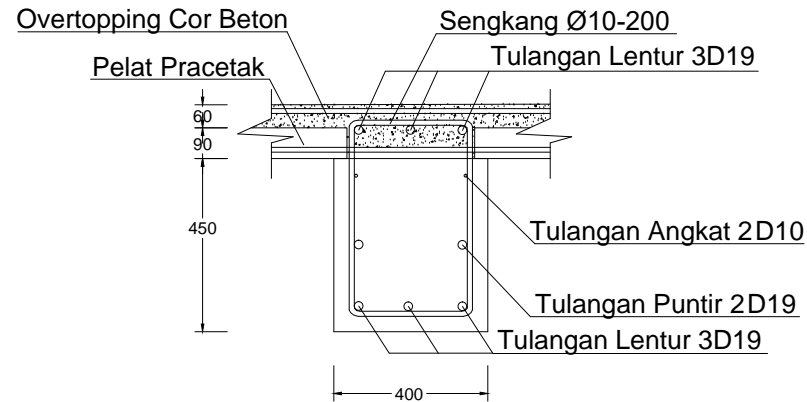
Detail BI3 Interior Setelah Komposit  
Skala 1:50



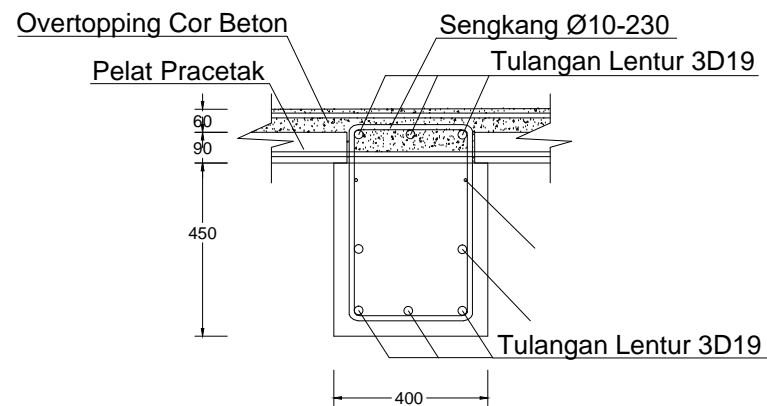
Potongan A-A Sebelum Komposit  
Skala 1:20



Potongan B-B Sebelum Komposit  
Skala 1:20



Potongan A-A Setelah Komposit  
Skala 1:20



Potongan B-B Setelah Komposit  
Skala 1:20



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS DENGAN METODE  
BETON PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Budi Suswanto, ST., MT., PhD.

MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

GAMBAR

Detail Penulangan BI3 Interior

SKALA

1:50  
1:20

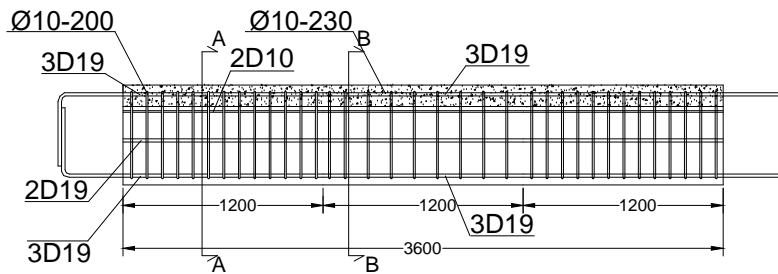
NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

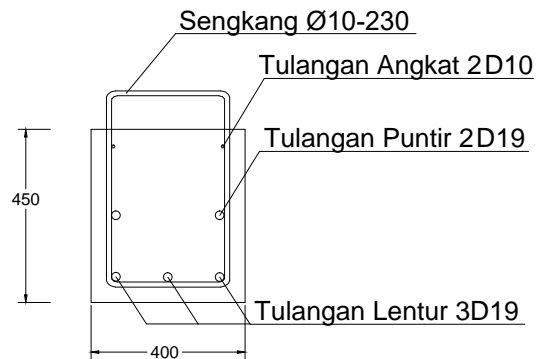
10

31

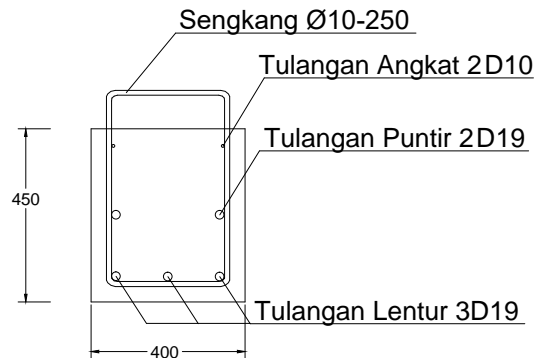
CATATAN



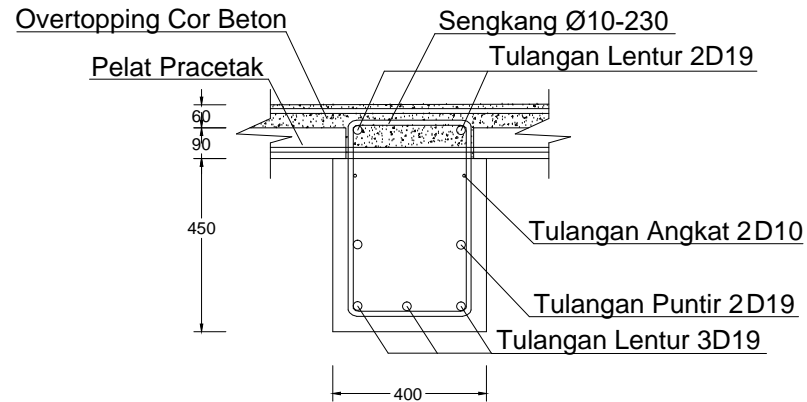
Detail BI3 Eksterior Setelah Komposit  
Skala 1:50



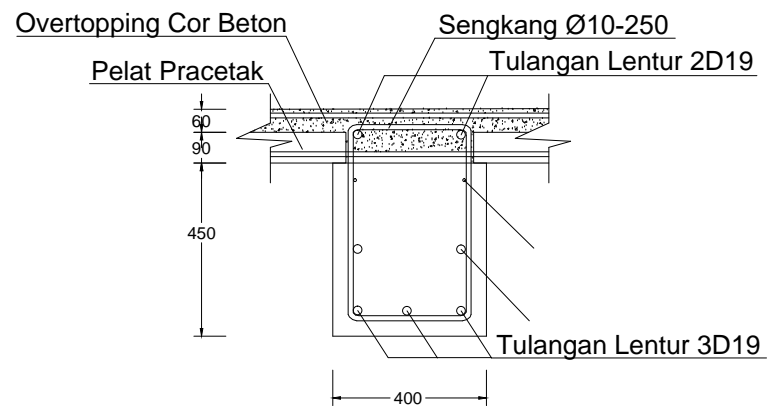
Potongan A-A Sebelum Komposit  
Skala 1:20



Potongan B-B Sebelum Komposit  
Skala 1:20



Potongan A-A Setelah Komposit  
Skala 1:20



Potongan B-B Setelah Komposit  
Skala 1:20



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS DENGAN METODE  
BETON PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Budi Suswanto, ST., MT., PhD.

MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

GAMBAR

Detail Penulangan BI3 Eksterior

SKALA

1:50  
1:20

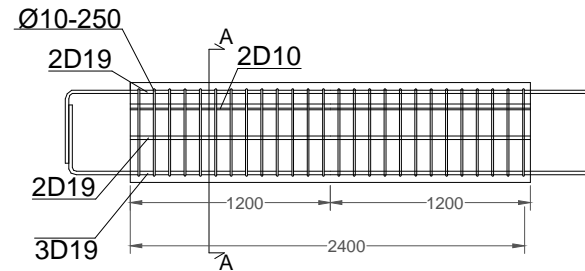
NO. LEMBAR JUMLAH LEMBAR

11

31

CATATAN

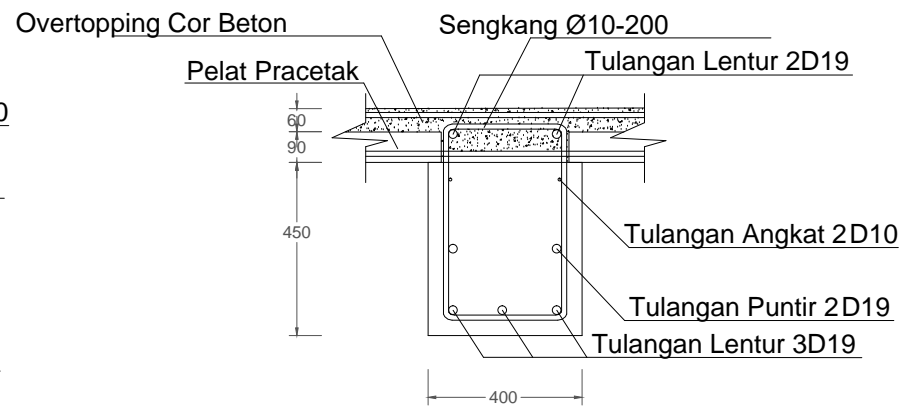




Detail BI4 Setelah Komposit  
Skala 1:50



Potongan A-A Sebelum Komposit  
Skala 1:20



Potongan A-A Setelah Komposit  
Skala 1:20



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS DENGAN METODE  
BETON PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Budi Suswanto, ST., MT., PhD.

MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

GAMBAR

Detail Penulangan BI3 Interior

SKALA

1:50  
1:20

NO. LEMBAR JUMLAH LEMBAR

12

31

CATATAN



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

## TUGAS AKHIR

**MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS DENGAN METODE  
BETON PRACETAK**

## DOSEN PEMBIMBING

Budi Suswanto, ST.,MT.,PhD

## MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

## GAMBAR

Denah Tangga  
Potongan Tangga

## SKALA

1:100  
1:50

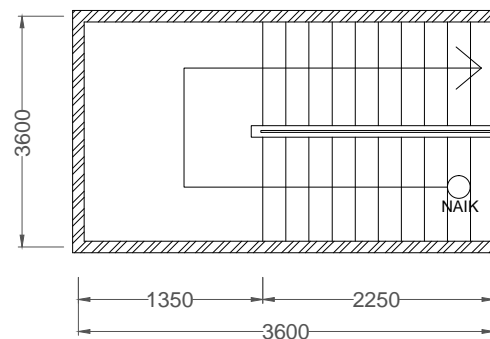
NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

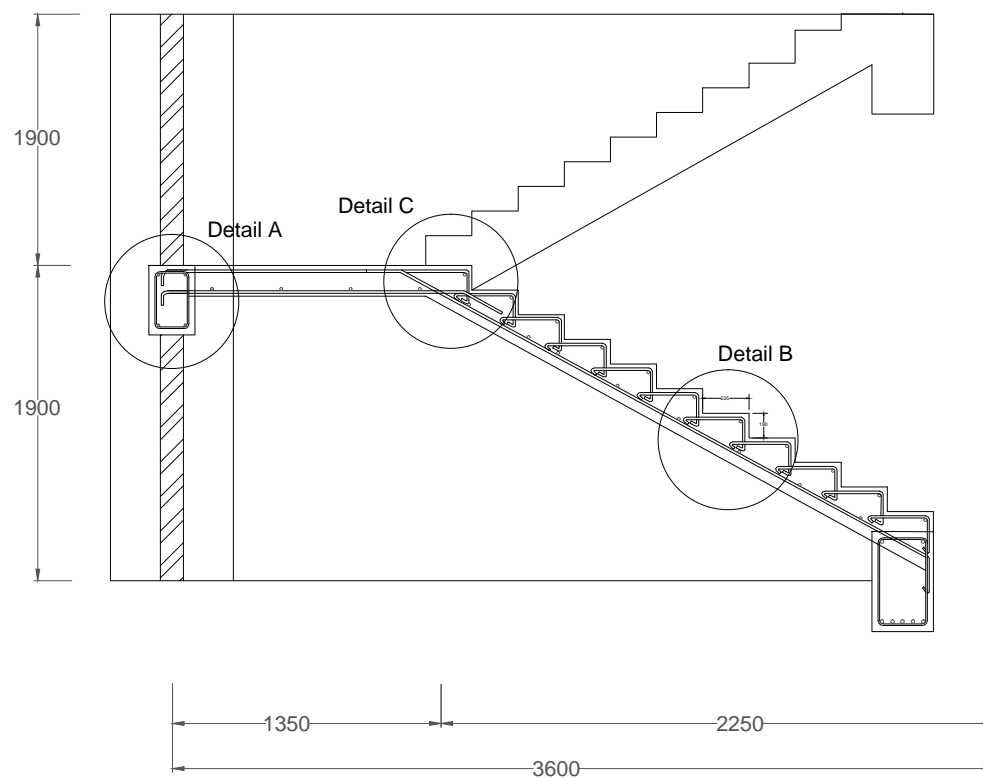
13

31

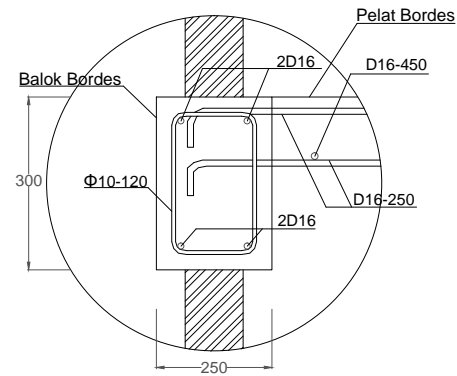
## CATATAN



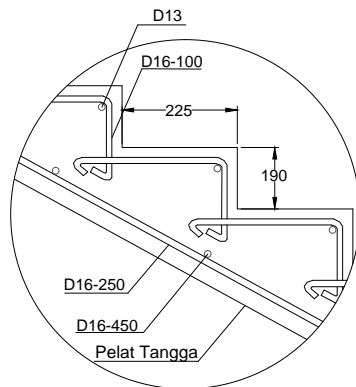
Denah Tangga  
Skala 1:100



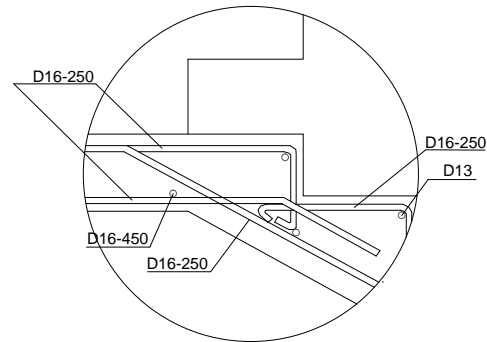
Potongan Tangga  
Skala 1:50



Detail A  
Skala 1:20



Detail B  
Skala 1:20



Detail C  
Skala 1:20



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS DENGAN METODE  
BETON PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Budi Suswanto, ST.,MT.,PhD

MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

GAMBAR

Potongan Tangga

SKALA

1:20

NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

14

31

CATATAN



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

## TUGAS AKHIR

**MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS DENGAN METODE  
BETON PRACETAK**

## DOSEN PEMBIMBING

Budi Suswanto, ST., MT., PhD.

## MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

## GAMBAR

Detail Pelat Lantai

## SKALA

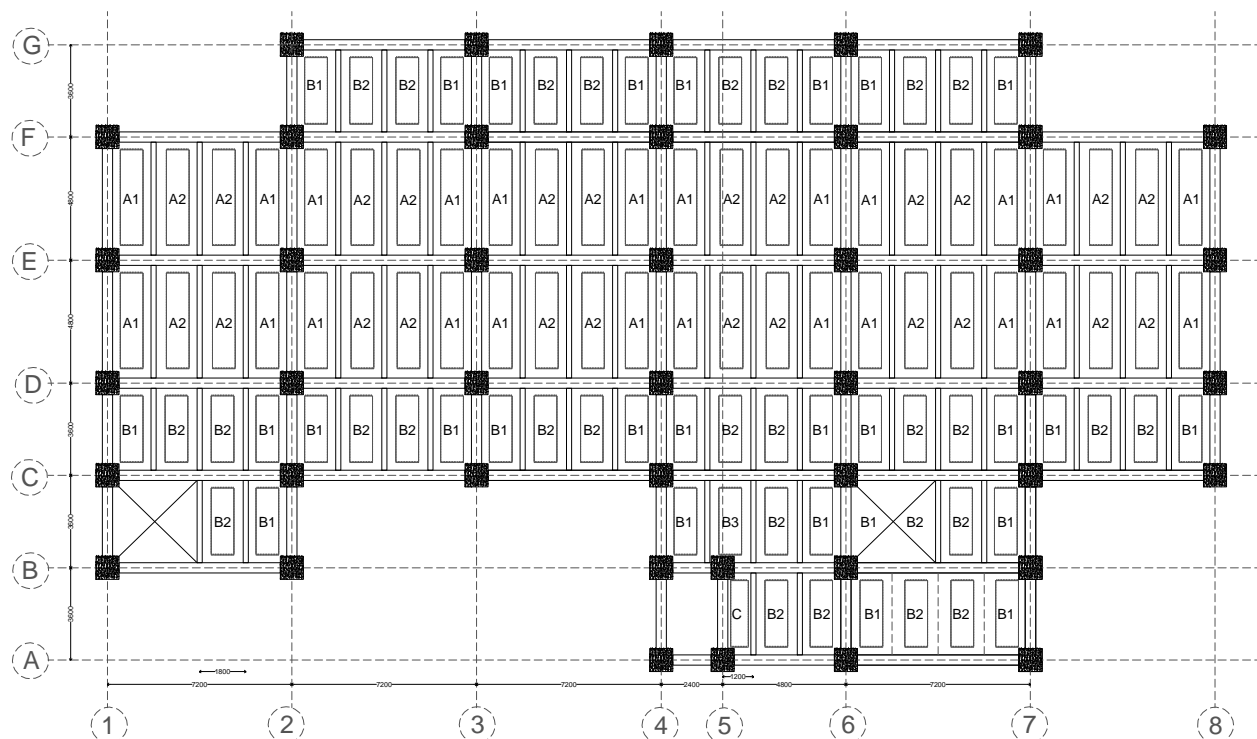
1:300

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
------------	---------------

15
----

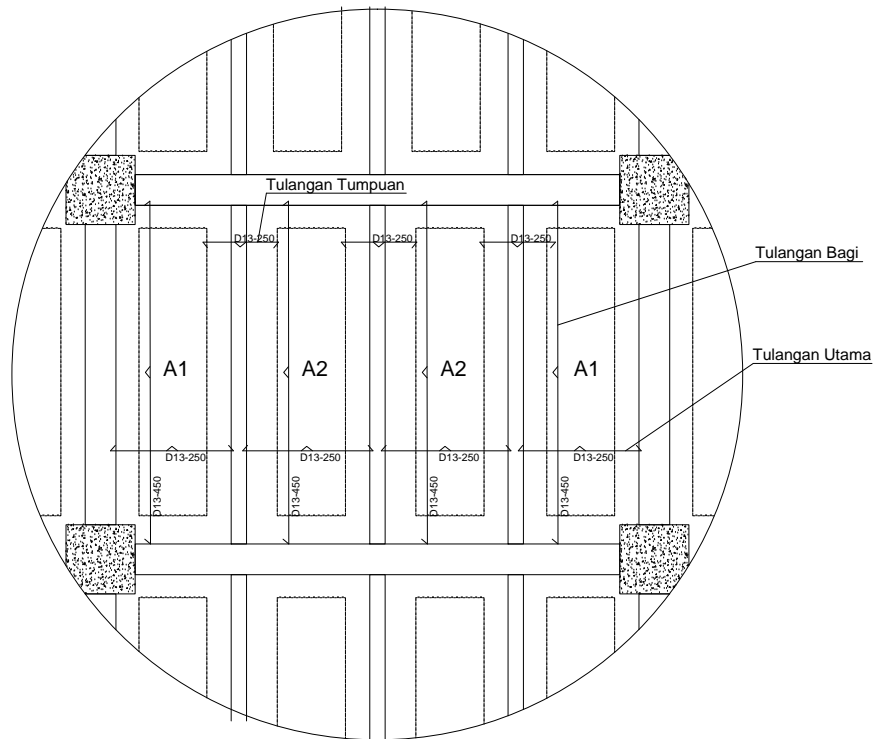
31
----

## CATATAN

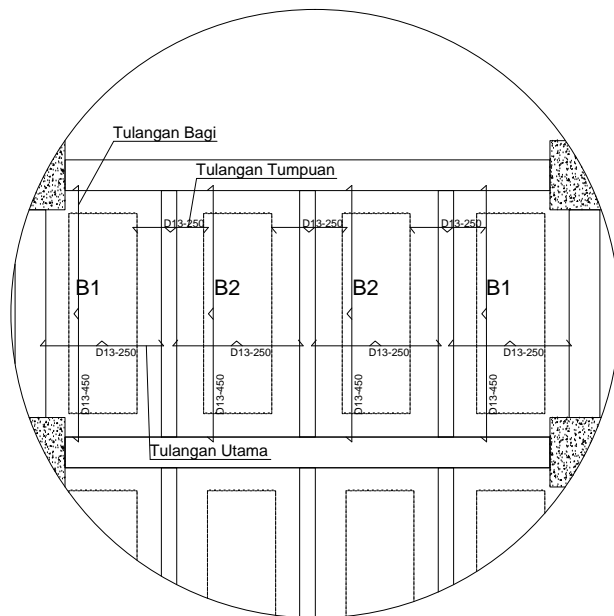
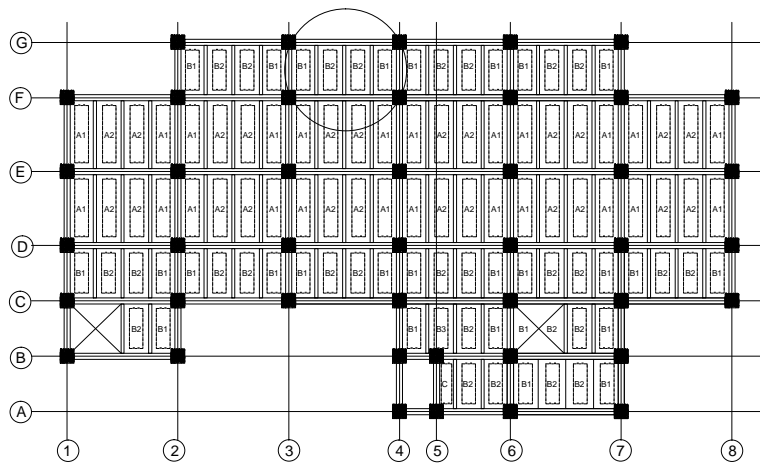


Denah Pelat Lantai 1-10  
Skala 1:300

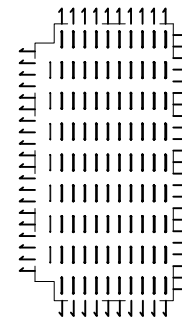
No.	Tipe Pelat	Dimensi (mm)	Tebal (cm)
1	A	1800 x 4800	15
2	B	1800 x 3600	15
3	C	1200 x 3600	15



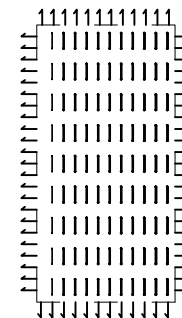
CATATAN



Detail Penulangan Pelat B  
Skala 1:100



Pelat Pracetak B1  
Skala 1:100



Detail Pelat Pracetak B2  
Skala 1:100



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS DENGAN METODE  
BETON PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Budi Suswanto, ST.,MT.,PhD

MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

GAMBAR

Detail Tulangan Pelat B

SKALA

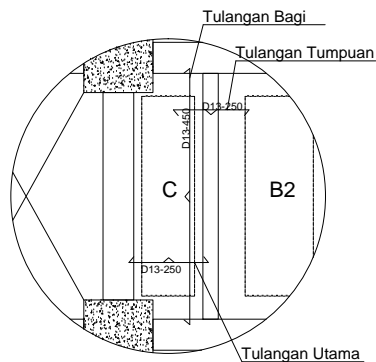
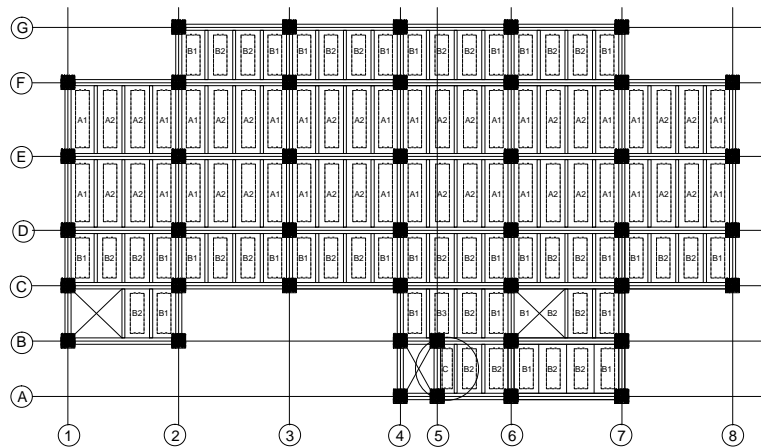
1:100

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
------------	---------------

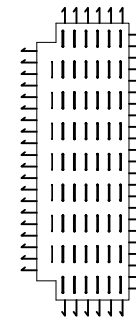
17

31

CATATAN



Detail Penulangan Pelat C  
Skala 1:100



Pelat Pracetak C  
Skala 1:100



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

## TUGAS AKHIR

MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS DENGAN METODE  
BETON PRACETAK

## DOSEN PEMBIMBING

Budi Suswanto, ST .,MT.,PhD

## MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

## GAMBAR

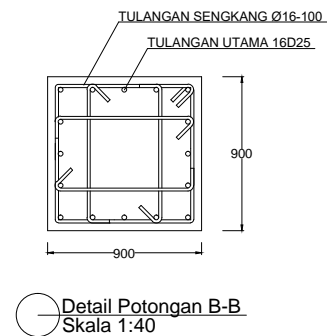
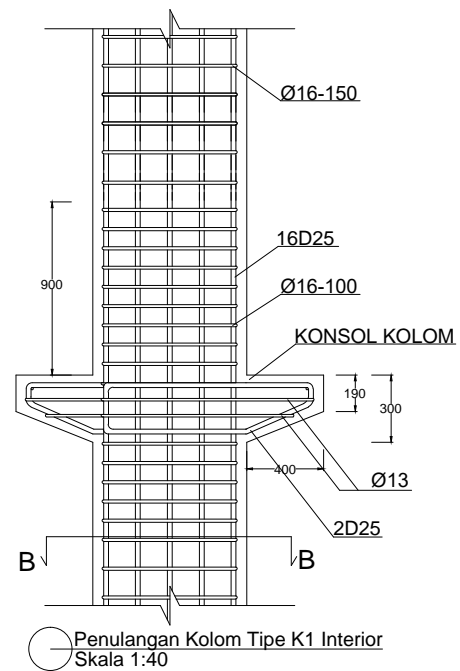
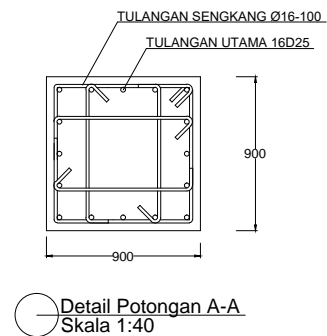
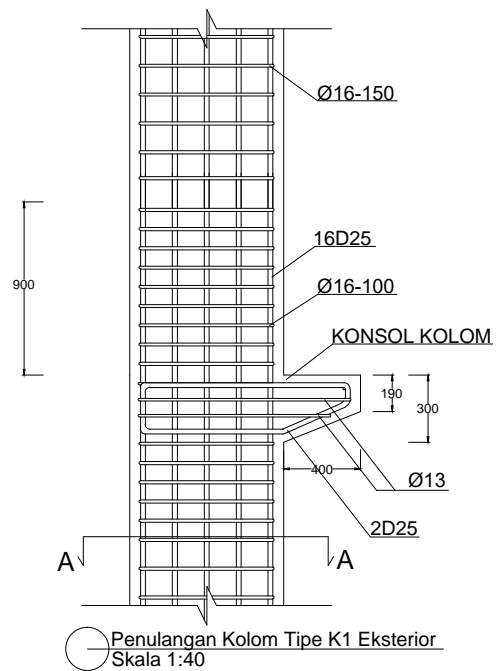
Detail Tulangan Pelat C

## SKALA

1:100

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
18	31

## CATATAN



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS DENGAN METODE  
BETON PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Budi Suswanto, ST., MT., PhD

MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

GAMBAR

Detail Penulangan Kolom K1

SKALA

1:40

NO. LEMBAR

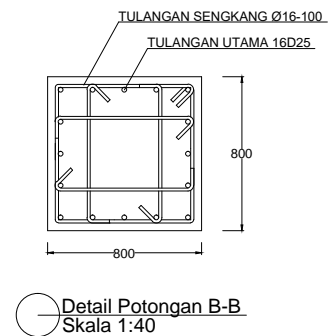
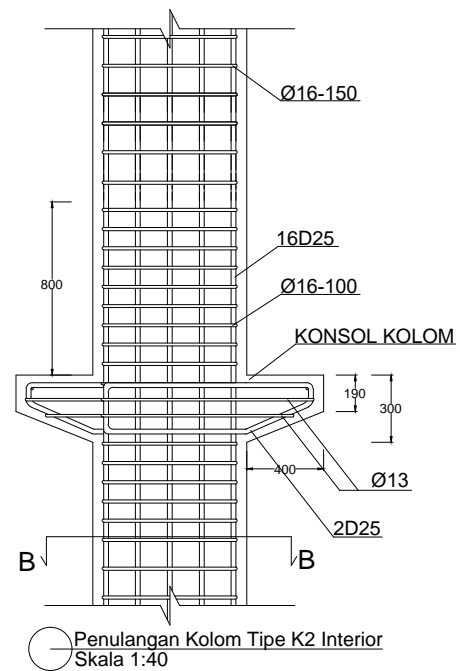
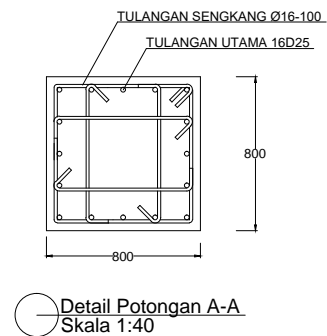
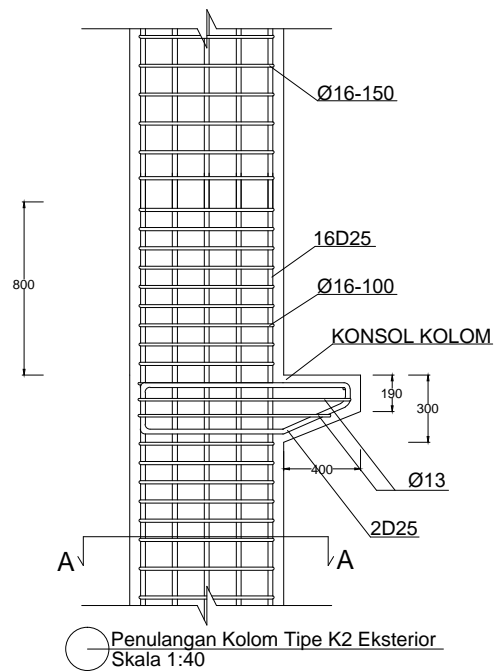
JUMLAH LEMBAR

19

31

CATATAN





JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

## TUGAS AKHIR

**MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS DENGAN METODE  
BETON PRACETAK**

## DOSEN PEMBIMBING

Budi Suswanto, ST., MT., PhD

## MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

## GAMBAR

Detail Penulangan Kolom K2

## SKALA

1:40

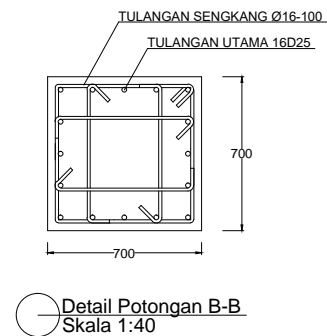
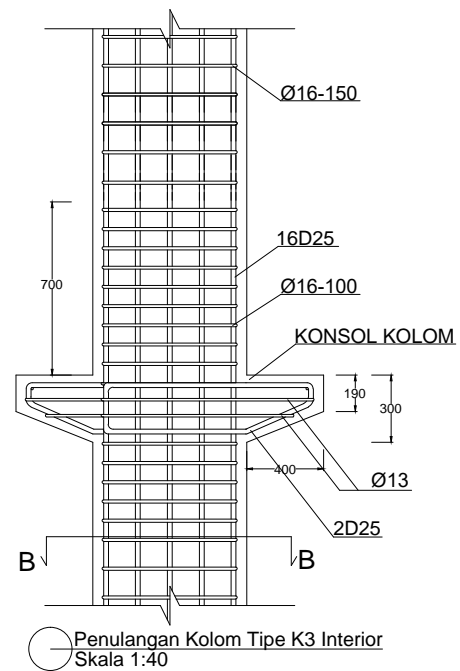
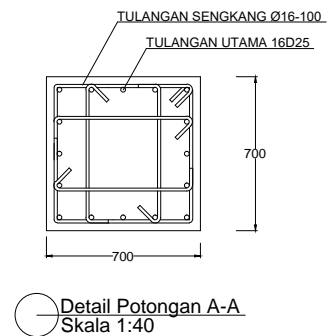
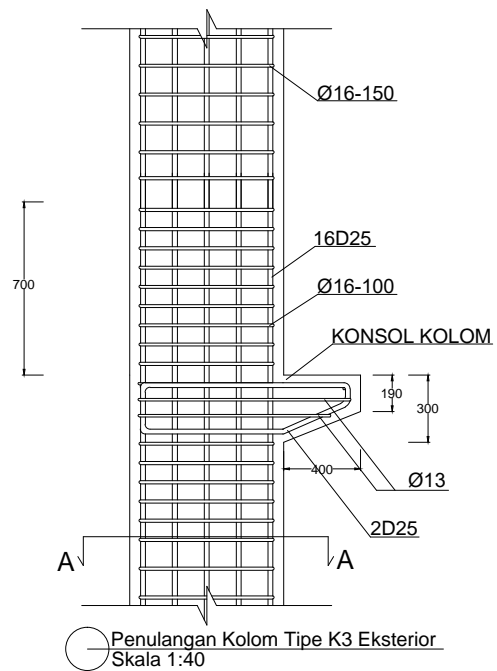
NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

20

31

## CATATAN



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS DENGAN METODE  
BETON PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Budi Suswanto, ST., MT., PhD

MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

GAMBAR

Detail Penulangan Kolom K3

SKALA

1:40

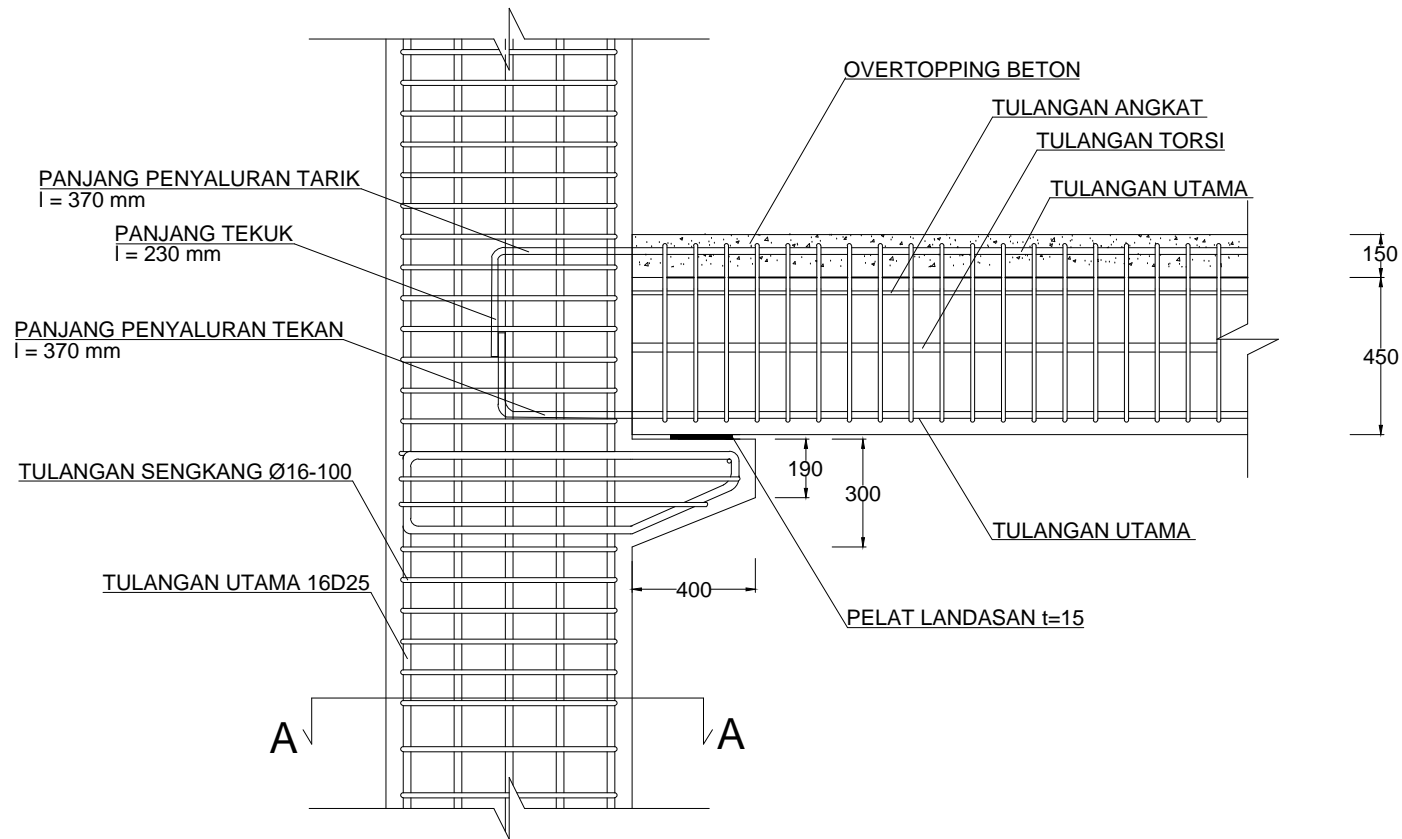
NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

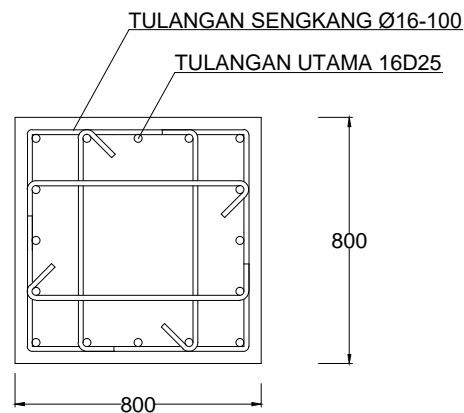
21

31

CATATAN



Detail Sambungan Balok B1 dan Kolom K1  
Skala 1:25



Potongan A-A  
Skala 1:25



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

## TUGAS AKHIR

MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS DENGAN METODE  
BETON PRACETAK

## DOSEN PEMBIMBING

Budi Suswanto, ST., MT., PhD.

## MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

## GAMBAR

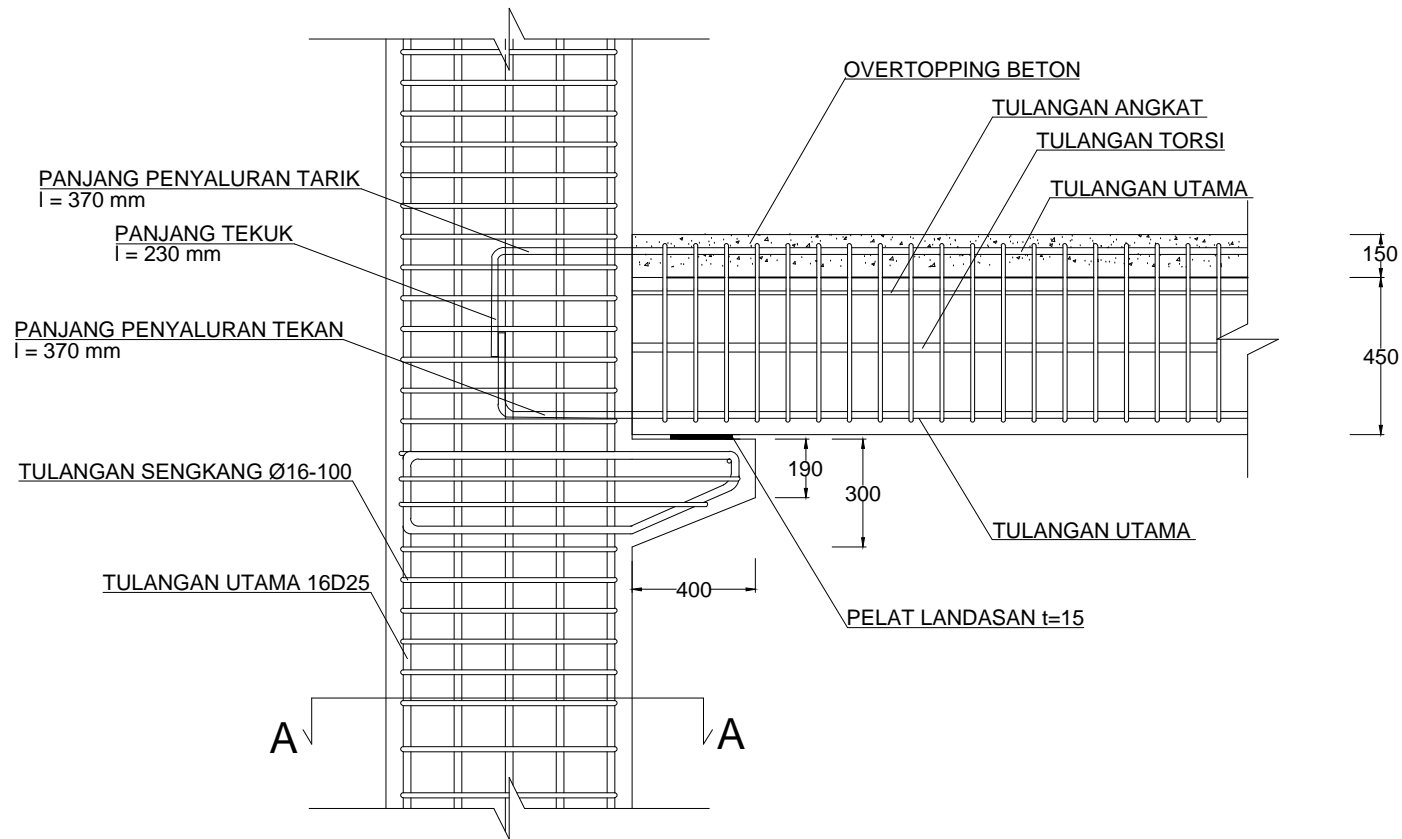
Detail Sambungan Balok-Kolom  
K1-B11

## SKALA

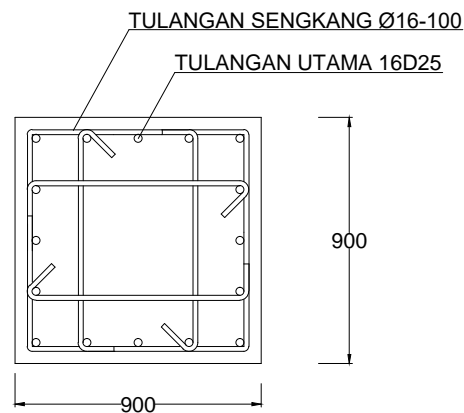
1:25

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
22	31

## CATATAN



Detail Sambungan Balok B12 dan Kolom K1  
Skala 1:25



Potongan A-A  
Skala 1:25



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

## TUGAS AKHIR

**MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS DENGAN METODE  
BETON PRACETAK**

## DOSEN PEMBIMBING

Budi Suswanto, ST., MT., PhD.

## MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

## GAMBAR

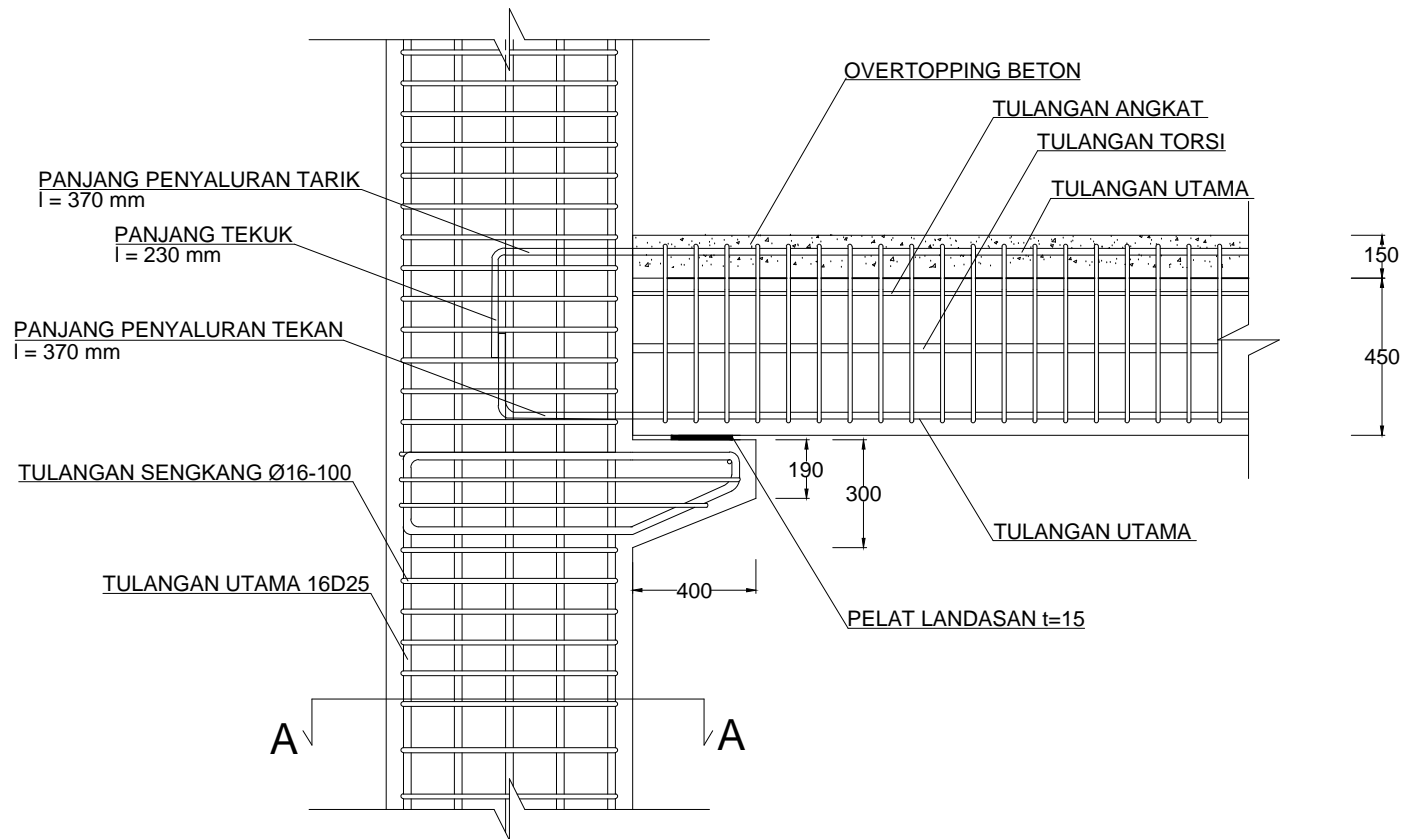
Detail Sambungan Balok-Kolom  
K1-B12

## SKALA

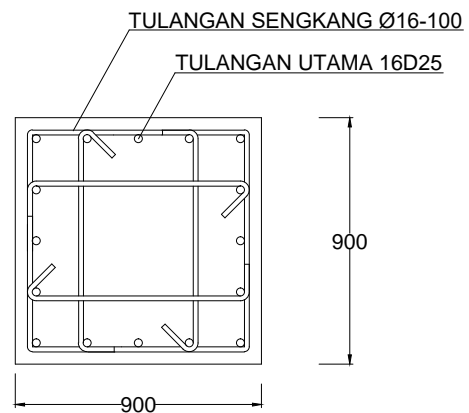
1:25

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
23	31

## CATATAN



Detail Sambungan Balok B13 dan Kolom K1  
Skala 1:25



Potongan A-A  
Skala 1:25



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

## TUGAS AKHIR

MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS DENGAN METODE  
BETON PRACETAK

## DOSEN PEMBIMBING

Budi Suswanto, ST., MT., PhD.

## MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

## GAMBAR

Detail Sambungan Balok-Kolom  
K1-B13

## SKALA

1:25

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
24	31

## CATATAN



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

## TUGAS AKHIR

**MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS DENGAN METODE  
BETON PRACETAK**

## DOSEN PEMBIMBING

Budi Suswanto, ST., MT., PhD.

## MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

## GAMBAR

Detail Sambungan  
Balok Induk-Balok Anak

## SKALA

1:25

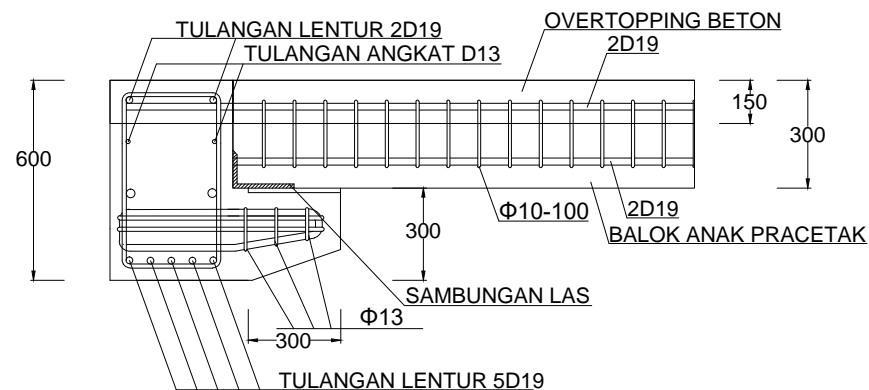
NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

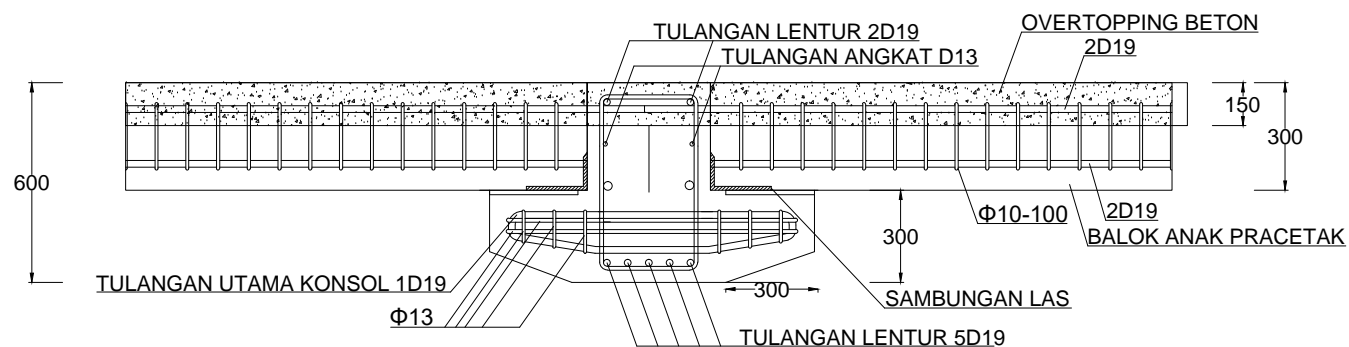
25

31

## CATATAN



Detail Sambungan Balok BI1 dan Balok BA1  
Skala 1:25



Detail Sambungan Balok BI2 dan Balok BA1  
Skala 1:25



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

## TUGAS AKHIR

**MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS DENGAN METODE  
BETON PRACETAK**

## DOSEN PEMBIMBING

Budi Suswanto, ST., MT., PhD.

## MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

## GAMBAR

Detail Sambungan Balok-Pelat

## SKALA

1:25

NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

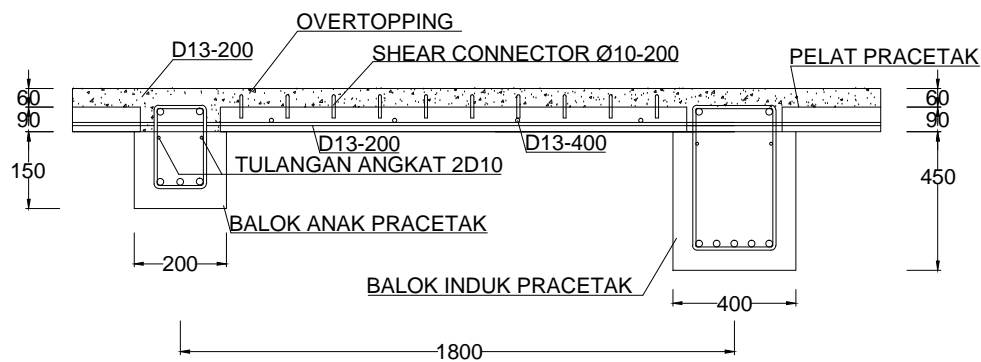
26

31

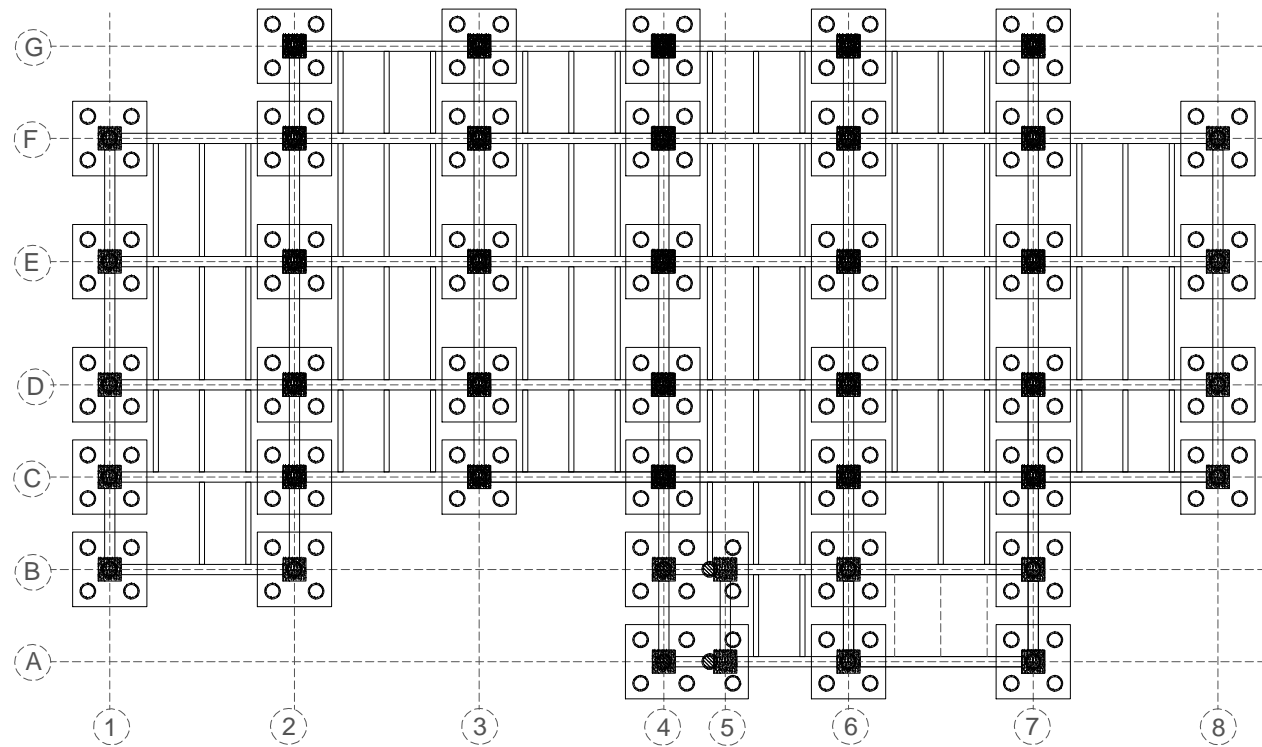
## CATATAN



Detail Sambungan Balok BA1 dan Pelat P1 Sebelum Komposit  
Skala 1:25



Detail Sambungan Balok BA1 dan Pelat P1 Setelah Komposit  
Skala 1:25



Denah Pondasi  
Skala 1:300



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS DENGAN METODE  
BETON PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Budi Suswanto, ST., MT., PhD.

MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

GAMBAR

Detail Pondasi

SKALA

1:300

NO. LEMBAR

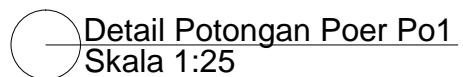
JUMLAH LEMBAR

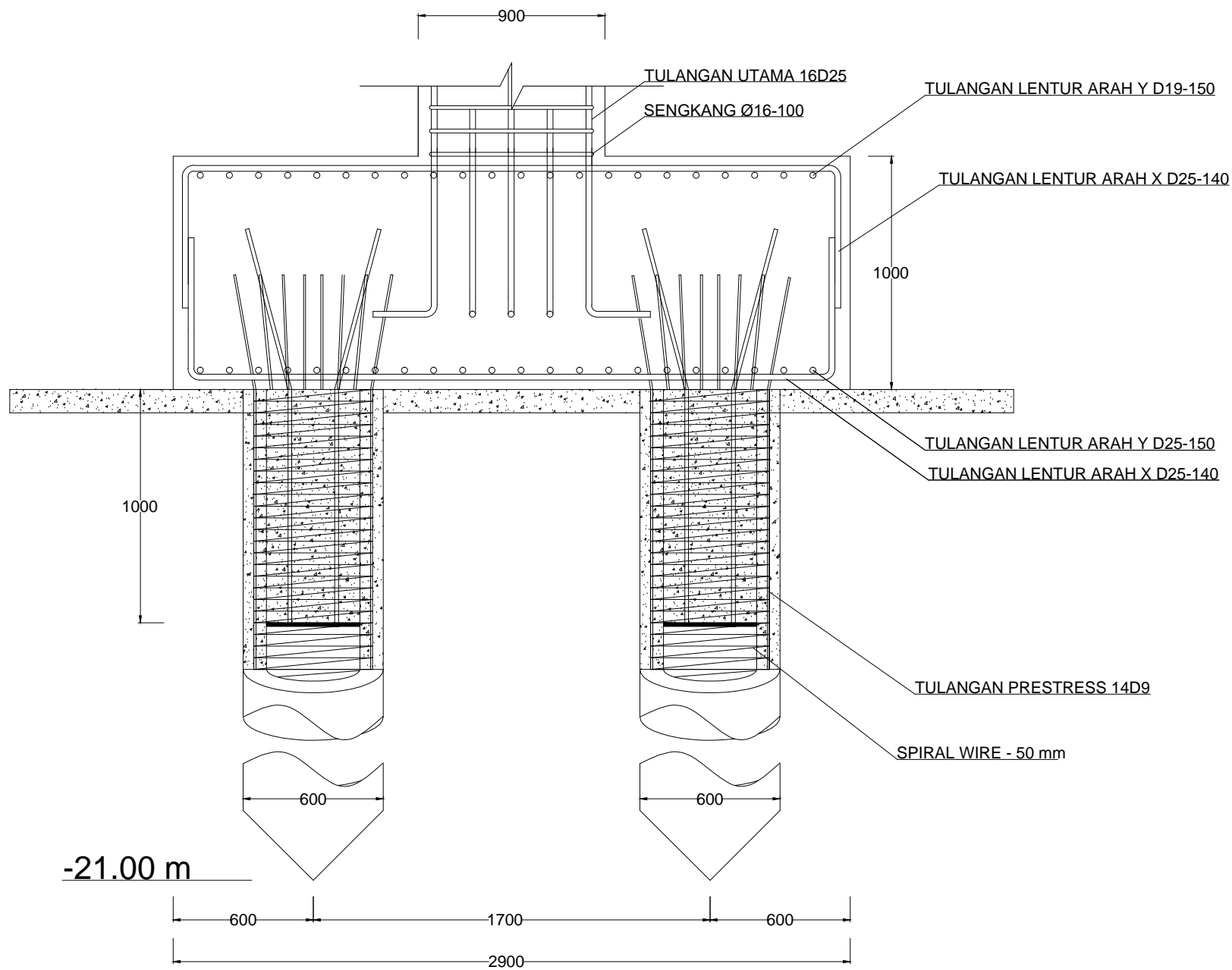
27

31

CATATAN







Detail Potongan Poer Po2  
Skala 1:25



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS MENGGUNAKAN  
BETON PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Budi Suswanto, ST., MT., PhD.

MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

GAMBAR

Detail Penulangan Poer Po2

SKALA

1:25

NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

29

31

CATATAN



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS DENGAN METODE  
BETON PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Budi Suswanto, ST., MT., PhD.

MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

GAMBAR

SKALA

1:50

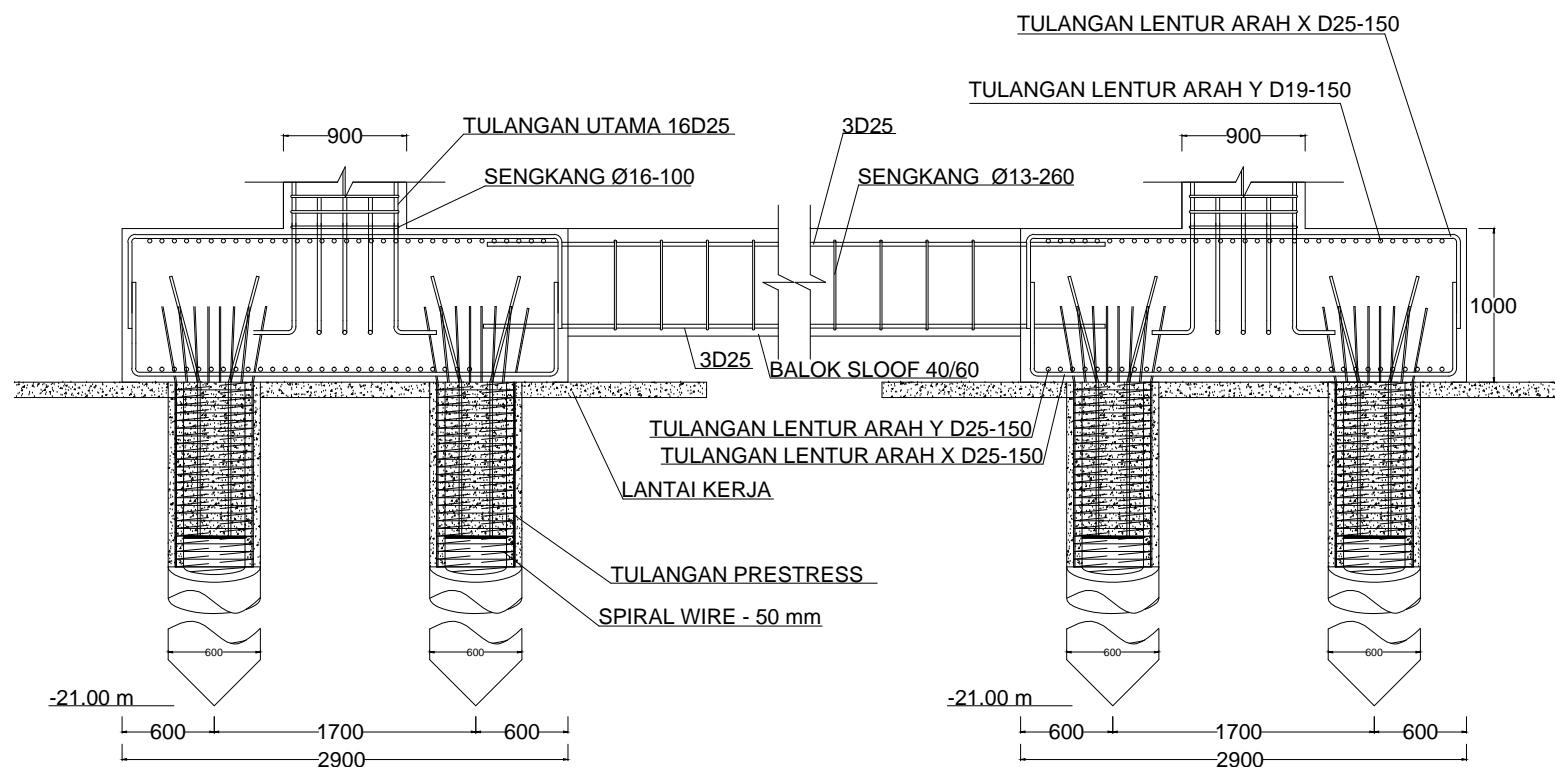
NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

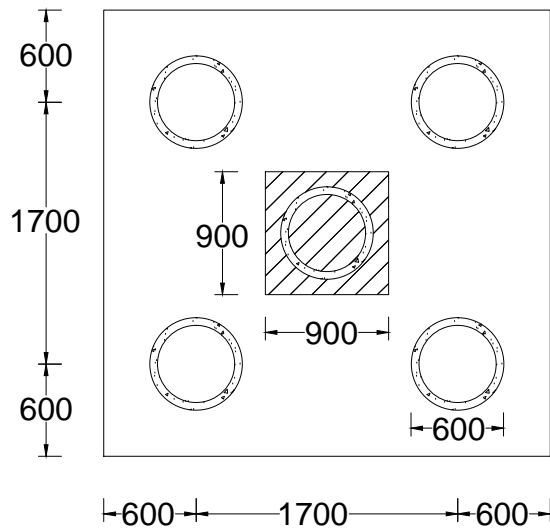
30

31

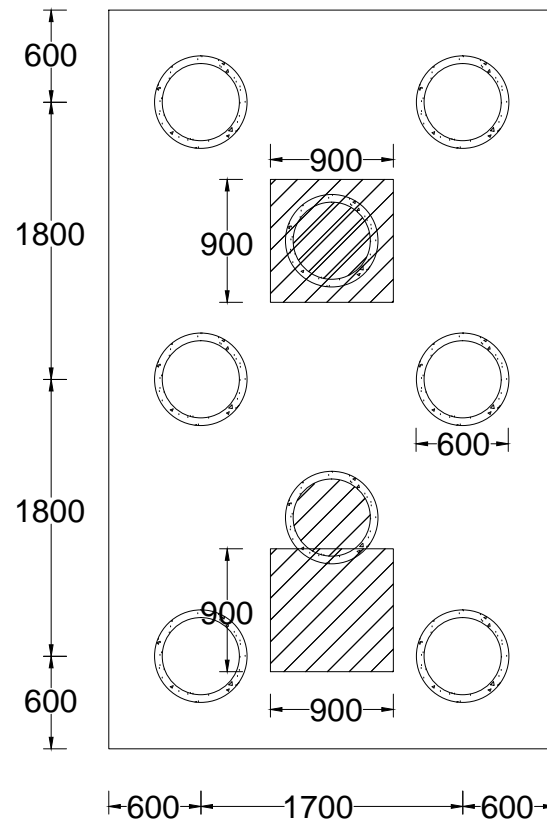
CATATAN




Detail Hubungan Sloof dengan Poer Po1  
Skala 1:50




**Konfigurasi Tata Letak Tiang Pancang Po1**  
 Skala 1:50




**Konfigurasi Tata Letak Tiang Pancang Po2**  
 Skala 1:50



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

TUGAS AKHIR

**MODIFIKASI GEDUNG  
LABORATORIUM TEKNIK  
INDUSTRI ITS DENGAN METODE  
BETON PRACETAK**

DOSEN PEMBIMBING

Budi Suswanto, ST., MT., PhD.

MAHASISWA

Indra Jati Prakoso

GAMBAR

Konfigurasi Tata Letak  
Tiang Pancang

SKALA

1:50

NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

31

31

CATATAN